

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNA DIŞ DUVARLARI İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ
BELİRLENMESİ VE MALİYET ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İbrahim Halil DEMİR

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği
Programı: Enerji

Danışman: Prof. Dr. Ebru Kavak AKPINAR

MART-2014

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİNA DIŞ DUVARLARI İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ
BELİRLENMESİ VE MALİYET ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim Halil DEMİR

(092120103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mart 2014
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Şubat 2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ebru Kavak AKPINAR (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yaşar BİÇER (F.Ü)

Doç. Dr. Hikmet ESEN (F.Ü)

Mart - 2014

ÖNSÖZ

Hazırladığım bu çalışmamda bana çalışmamı öneren, çalışmalarında beni her zaman büyük özveriyle destekleyen ve çalışmamın bütün aşamalarında her türlü yardımı gösteren hocam Sayın Prof. Dr. Ebru Kavak AKPINAR' a, hiç bir zaman maddi manevi destekleyen annem, kız kardeşime ve desteğiyle hep yanımda olan eşim Sevim DEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim. Ruhun şad mekânın cennet olsun babacım...

İbrahim Halil DEMİR
ELAZIĞ - 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. YALITIM.....	7
3.1. Yalıtımın Amacı.....	7
3.2. Isı Yalıtımının Faydaları	7
3.3. Yalıtımın Türleri	8
3.4. Isı Yalıtım Malzemeleri	9
3.4.1. Extrude polistren köpük (XPS).....	10
3.4.2. Ekspande polistren köpük (EPS)	11
3.5. Isı Yalıtımının Yapılma Şekli	11
3.6. Konutlarda Enerji Ekonomisi.....	12
3.6.1. Isıl konfor	12
3.6.2. Yapı.....	13
3.6.2.1. Bina yapısını belirleyen unsurlar.....	13
3.6.2.2. Binanın konumunu belirleyen unsurlar.....	14
3.6.2.3. Binanın kullanım amacı.....	14
3.7. Binalarda Isı Kaybının Azaltılmasında Yalıtım ve TS825	14
3.7.1. Pencere	15
3.7.2. Çatı	17
3.7.3. Duvarlar	17
3.7.4. Kapılar.....	18
3.7.5. Döşeme	19
3.8. Yapı elemanların Boyut ve Fiziksel Özelliklerinin Enerji Ekonomisine Etkisi..	19
3.9. Isı Yalıtımının Çevre Kirliliğine Etkisi.....	20
3.9.1. Su buharı geçişi ve terlemenin kontrolü	20

3.9.2.	Binalarda projelendirme aşamasında alınabilecek enerji tasarrufu önlemleri	22
3.10.	Bina Dış Duvarlarının Yalıtımı.....	22
3.10.1.	Dıştan yalıtım.....	23
3.10.2.	İçten yalıtım	23
4.	YÖNTEM.....	25
4.1.	Bina Duvarlarının Yapısı	25
4.2.	Derece-Gün Yöntemi	26
4.3.	Isı Kayıpları ve Enerji Gereksinimi	28
4.4.	Maliyetler ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması	29
4.5.	Dıştan Yalıtılmış Duvar ve Sandviç Duvar İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması	31
4.5.1.	Balıkesir ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi.....	32
4.5.2.	Balıkesir ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ..	32
4.5.3.	Kayseri ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi.....	33
4.5.4.	Kayseri ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi	33
4.5.5.	Malatya ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi.....	34
4.5.6.	Malatya ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi....	35
4.5.7.	Mersin ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi.....	36
4.5.8.	Mersin ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi.....	36
4.5.9.	Muğla ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi.....	37
4.5.10.	Muğla ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi	37
4.5.11.	Şanlıurfa ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi.....	38
4.5.12.	Şanlıurfa ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ..	38
4.5.13.	Trabzon ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi.....	39

4.5.14.	Trabzon ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ...	40
5.	BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	41
6.	SONUÇLAR	53
	KAYNAKLAR.....	54
	ÖZGEÇMİŞ.....	57

ÖZET

Binalarda ısı yalıtımı yapılarak ısıtma enerjisi ihtiyacı azaltılıp, enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Isı yalıtımında doğru malzeme seçimi ve optimum yalıtım kalınlığının tespiti önemli bir konudur. Türkiye’de tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma enerjisi olarak tüketilmektedir. Bu durum yakıt fiyatlarının yüksek olduğu bir ülkede, binalara yalıtım yapılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu çalışmada Türkiye’nin yedi farklı bölgesinden seçilen Balıkesir, Kayseri, Malatya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Trabzon illerinin, kömür yakıtı ve ekstrüde polistren köpük(XPS)ve genleştirilmiş polistren köpük (EPS)yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı duvar modeli üzerinde yapılmıştır. Sonuç olarak dikkate değer enerji tasarrufları sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Optimum yalıtım kalınlığı, enerji verimliliği, XPS, EPS.

SUMMARY

Building Exterior Wall Insulation Thickness for Determination of Optimum And Cost Analysis

By insulating the buildings, the required heating energy is decreased and energy saving is provided. Determining the correct material and optimum insulation thickness are very important issues in thermal insulation. In Turkey, the most of the produced energy is used for heating. This situation emphasizes the need for insulation on buildings. In this study, the optimum insulation thickness for coal as energy sources and polystyrene as insulation materials is calculated for Balıkesir, Kayseri, Malatya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Trabzon cities that selected from seven different regions of Turkey. Two different wall types as sandwich wall and wall insulated on external side are used in the calculations. As a result, considerable energy saving is obtained.

Key words: Optimum insulation thickness, Energy saving, XPS, EPS.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Pencereelerde iyi bir ısı yalıtımı	12
Şekil 3.2. Duvar yalıtım modelleri	15
Şekil 3.3. Pencere içi yalıtımlı perde uygulaması	16
Şekil 3.4. Su buharı difüzyonu şeması	21
Şekil 3.5. Dıştan yalıtılmış bir duvarın yalıtım detaylarının perspektif görünümü	23
Şekil 3.6. İçten yalıtılmış bir duvarın yalıtım detaylarının perspektif görünümü	24
Şekil 4.1. Hesaplamalarda kullanılan duvar modelleri	25
Şekil 5.1. Balıkesir ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	43
Şekil 5.2. Balıkesir ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	43
Şekil 5.3. Kayseri ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	44
Şekil 5.4. Kayseri ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	44
Şekil 5.5. Malatya ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	45
Şekil 5.6. Malatya ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	45
Şekil 5.7. Mersin ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	46
Şekil 5.8. Mersin ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	46
Şekil 5.9. Muğla ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	47
Şekil 5.10. Muğla ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	47
Şekil 5.11. Şanlıurfa ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	48

Şekil 5.12. Şanlıurfa ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	48
Şekil 5.13. Trabzon ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	49
Şekil 5.14. Trabzon ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi	49
Şekil 5.15. Yedi farklı bölgelerin dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık kazanç üzerindeki etkisi	50
Şekil 5.16. Yedi farklı bölgelerin sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllıkKazanç üzerindeki etkisi.....	50

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Dış duvar malzemelerin fiziksel özellikleri	26
Tablo 4.2. İllerin derece gün sayıları	27
Tablo 4.3. Balıkesir için yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler ...	31
Tablo 4.4. Kayseri için yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler	33
Tablo 4.5. Malatya için yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler	34
Tablo 4.6. Mersin için yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler	35
Tablo 4.7. Muğla için yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler	36
Tablo 4.8. Şanlıurfa için yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler	38
Tablo 4.9. Trabzon için yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler	39
Tablo 5.1. Dıştan yalıtımlı duvar için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı	41
Tablo 5.2. Sandviç duvar için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları	42
Tablo 5.3. Yıllık maliyet ve optimum yalıtım kalınlığı için Excel grafik tablosu	42
Tablo 5.4. XPS (Extrude Polistren Köpük) dıştan yalıtılmış duvar için geri dönüşüm süresi ve enerji maliyeti tasarrufu tablosu	51
Tablo 5.5. XPS (Extrude Polistren Köpük) sandviç duvar için geri dönüşüm süresi ve enerji maliyeti tasarrufu tablosu	51
Tablo 5.6. EPS (Genleştirilmiş Polistren Köpük) dıştan yalıtılmış duvar için geri dönüşüm süresi ve enerji maliyeti tasarrufu tablosu	52
Tablo 5.7. EPS (Genleştirilmiş Polistren Köpük) sandviç duvar için geri dönüşüm süresi ve enerji maliyeti tasarrufu tablosu	52

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Birim alan (m^2)
C_{mlz}	: Yalıtım malzemesinin birim fiyatı, ($\$/m^3$)
C_{ykt}	: Yakıt fiyatı, ($\$/kg$)
C_{yıl}	: Birim alanı ısıtmak için kullanılan enerji maliyeti, ($\$/m^2$)
C_{ylt}	: Yalıtımın fiyatı, ($\$/m^2$)
DGS	: Derece-gün sayısı, ($^{\circ}C.gün$)
E_{yıl}	: Yıllık enerji ihtiyacı, ($\$/m^2yıl$)
g	: Enflasyon oranı
GDF	: Gelecek değer faktörü
Hu	: Yakıtın alt ısı değeri, (kJ/kg)
i	: Faiz oranı
k	: Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
N	: Ömür (yıl)
x	: Yalıtımın kalınlığı, (m)
PWF	: Şimdiki değer faktörü
R_i	: Duvar katmanlarının iç ısı taşınım direnci, (m^2K/W)
R_{dış}	: Duvar katmanlarının dış ısı taşınım direnci, (m^2K/W)
R_{ylt}	: Yalıtım malzemesi hariç duvarın toplam ısı direnci, (m^2K/W)
R_{duv}	: Duvar katmanlarının ısı yalıtımsız ısı direnci, (m^2K/W)
R_{duvtD}	: Dıştan yalıtımlı duvar katmanlarının yalıtımlı toplam ısı direnci, (m^2K/W)
R_{duvtS}	: Sandviç duvar katmanlarının yalıtımlı toplam ısı direnci, (m^2K/W)
T_b	: Denge sıcaklık, ($^{\circ}C$)
T_{o,min}	: Minimum sıcaklık, ($^{\circ}C$)
T_{o,max}	: Maksimum sıcaklık, ($^{\circ}C$)
U	: Isı geçiş katsayısı, (W/m^2K)
T_o	: Ortalama sıcaklık, ($^{\circ}C$)
q	: Dış duvarın birim yüzeyinde meydana gelen ısı kaybı, (W/m^2)
q_{yıl}	: Birim yüzeyde meydana gelen ısı kaybı, (W/m^2)
η	: Verim
ΔT	: Birim zaman (sn)

1. GİRİŞ

Kapalı ortamlardaki ısı koşulları, o ortamda yaşayan insanların konforunu ve sağlığını doğrudan ilgilendirir. İnsanların çalışma verimlerini büyük ölçüde bulundukları ortamın sıcaklığı belirler. Çalışma ortamının ısı koşulları, insanların bedensel ve zihinsel üretim hızını doğrudan etkiler. İnsanların konforlu bir yaşam sürebilmeleri 20-22 °C sıcaklık ve % 50 bağıl nem değerine sahip olan ortamlarda mümkündür. Kış aylarında dış ortam sıcaklıkları 20 °C' nin oldukça altında seyreder. Isı bir enerji türüdür ve Termodinamiğin 2. Yasası gereği ısı; yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama transfer olur. Bu nedenle yapılarda; kışın enerji kayıpları, yazın ise istenmeyen enerji kazançları meydana gelir. Bina içerisinde istenen konfor ortamının sağlanabilmesi için kış mevsiminde kaybolan ısıнын bir ısıtma sistemiyle karşılanması ve yaz aylarında kazanılan ısıнын bir soğutma sistemiyle iç ortamdan atılması gerekir. Gerek ısıtma gerekse soğutma işlemleri için enerji harcanır [1].

Yapılarda ve tesisatlar da ısı kayıp ve kazançlarının sınırlandırılması için yapılan işleme “ısı yalıtımı” denir. Teknik olarak, ısı yalıtımı, farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı geçişini azaltmak için kullanılır. Isı yalıtımı yaparak binanın ömrünü uzatmak, kullanıcıya sağlıklı, konforlu mekânlar sunabilmek ve bina kullanım aşamasında yakıt ve soğutma giderlerinde büyük kazanım sağlamak mümkündür. Binaların ısıtılması amacıyla büyük oranda fosil yakıtlar kullanılır. Kömür, petrol gibi yakıtlar bir yandan gözle görülür biçimde hava kirliliğine yol açarken, diğer yandan küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Fosil yakıtlar yandığında, renksiz ve yanmayan bir gaz olan karbondioksit açığa çıkar. Genellikle atmosferin alt tabakası troposferde bulunan karbondioksitin çevre dengesi açısından önemi büyüktür. Enerji tüketimindeki artış sonucu, atmosferdeki karbondioksit miktarı yıldan yıla artar. Bunun sonucunda, güneş ışınlarının yeryüzüne gidişi ve yansıma ile dönmesi sırasında, çok fazla miktarda enerji soğurulur ve atmosferin sıcaklığı giderek yükselir. Küresel ısınma, sera gazları olarak adlandırılan gazların etkisiyle atmosfer sıcaklığındaki bu yükselmenin bir sonucudur [2].

Isıl konforu sağlamak için ortam sıcaklığı ile duvar iç yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı düşürülmelidir. Bu fark ne kadar yüksek olursa konfor da o kadar düşük olacaktır. Konforlu bir mekân için bu farkın en az 3 °C olması gerekir. İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması durumunda, ısının ortam içinde soğuk yüzeylere doğru hareketi, istenmeyen hava akımları oluşturur. Bu hava akımları da konforu azaltarak hastalıklara neden olur. İç yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklıkları arasındaki farkı azaltmak için ısı yalıtımı gerekir. Isı yalıtımı ile mekânın her noktasında homojen bir sıcaklık sağlanır ve hava akımları engellenir. Bu da hem konforlu hem de sağlıklı bir ortam sağlar. İç ortamda üretilen su buharı, yapılara zarar veren bir potansiyele sahiptir [3].

Yoğuşmanın zararlı etkilerinden korunmak için yapılabilecek uygulamalardan biri de içten ısı yalıtımı uygulamalarıdır. İçten ısı yalıtımı uygulamaları ile iç yüzeyin sıcaklığı su buharının doyma sıcaklığının üzerinde tutularak küf, mantar, vb. oluşumu engellenir. Ayrıca yapı bileşeni içerisinden geçen su buharı miktarı sınırlandırılarak meydana gelebilecek yoğuşma miktarının yapı malzemelerinde zarar vermesi önlenir [4].

Isı yalıtımsız mekânlarda, oluşan nemin hastalıklarla ilişkisi bilinmektedir. Nemli ortamlar, mikroorganizmaların üremesi için uygun koşulları yaratır. Nemli ortamlar ve bu ortamlardaki küf oluşumu, değişik hastalıklara yakalanma riskini büyük ölçüde artırır. Hava kirliliği nedeniyle nefes darlığı, astım, bronşit, üst solunum yolu enfeksiyonları ve zatürre gibi göğüs hastalıklarına yakalanma oranı doğrudan artmaktadır. Isı yalıtımı uygulamaları ile ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan enerji miktarı daha az olacağından, hava kirliliği de azalacaktır [3-4].

Yukarıda ele alınan konular dışında ısı yalıtımının, dolaylı birçok faydası vardır. Isı yalıtımı yapılan yeni binalarda ısınma için daha az enerji gerekeceğinden, kazan büyüklüğü, radyatör sayısı ve kalorifer tesisatının diğer ekipmanları daha az kullanılır. Radyatör sayısının ve dilimlerinin azalması, odaların kullanım alanını da arttıracaktır. Isı yalıtımının yaygınlaşması bu alanda yatırımları arttıracak ve bu da işsizliği azaltıcı bir gelişme olacaktır. Aynı zamanda tesisatlar da yapılan ısı yalıtımı, tesisatları korozyondan koruyarak ömrünü uzatacaktır [5].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hassen, Daouas ve Aissia (1993), yaptıkları çalışmalarında termal cephe rezistansı ve derece günün fonksiyonu olarak görülen yalıtım kalınlığının optimum yapılmasında yaşam döngüsü maliyeti analizini kullanılmıştır. Yalıtım yapılmış binalardaki geri dönme tasarrufları karşılaştırılmış ve tasarrufun duvar (cephe) yapılarına bağlı olarak polistrenin yalıtımında 1.3-2.3 yıl, taş yünü için ise 1.7 yıl olduğu bildirilmiştir. Taş yünü ve polistrenin yalıtım uygulandığında tasarrufun 21 \$/m² kadar çıktığını göstermişlerdir [6].

Christenson (2002), derece gün değeri metoduyla Swiss yapısındaki enerji talebi üzerindeki iklimin etkisini araştırmıştır. Aylık sıcaklık verisinden, ısıtma ve soğutma derece gün değerini hesaplamak için yeni bir işlem geliştirmiş ve bunu 4 temsili Swiss yerlerine test edip uygulamıştır [7].

Çomaklı ve Yüksel (2002), derece gün metodunu kullanarak Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden olan, Erzincan, ~~Kars~~ ve Erzurum için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Optimum yalıtım kalınlığına göre yapılan hesaplara Erzurum da 12.113 \$/m²'lik ciddi bir enerji tasarrufu elde ettiklerini belirtmişlerdir [8].

Papadopoulos (2004), çalışmasında yalıtım malzemelerinin Avrupa pazarının inorganik lifli ve organik köpük malzeme ürünlerinden oluşturulduğunu, yalıtım yeterliliği bakımından her ikisinin de benzeri özellikler gösterdiğini ifade etmiştir. Malzemelerin ısısal özellikleriyle beraber ateşe, neme ve mekanik özelliklerinde de gelişmeler gösterdiğini savunmuştur. Yaptığı çalışmalarda gelecekteki en iyi yalıtım malzemeleri çeşitlerini tartışma ortamına sunmuştur [9].

Gölcü, Dombaycı ve Abalı (2005), çalışmalarında Denizli'deki binalarda ısıtma için farklı enerji kaynakları (ithal kömür ve fueloil) kullanıldığında, dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ile geri dönüşüm sürelerini hesaplamışlardır. Dış duvarlarda yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanmışlardır. Optimum yalıtım kalınlığını faiz ve enflasyon oranlarını dikkate alarak hesaplanmışlar,

hesapları ömür maliyet analizine (life cycle cost analys) göre yapmışlardır. Enerji kaynağı olarak kömür kullanıldığında; optimum yalıtım kalınlığını, yıllık tasarruf ve geri ödeme süresini sırasıyla 0.048 m % 42 ve 2.4 yıl olarak elde etmişlerdir [10].

Dombaycı (2005), dış duvarların optimum yalıtım kalınlığını iki farklı yalıtım materyali (genişletilmiş polistren, taş yünü) için hesaplamıştır. Farklı bölgelerdeki yapıların yıllık ısıtma ve soğutma gereksinimleri, bölgenin ısıtma derece gün değerinin, yapıya özgü genel sıcaklık değişimi oranından hesaplanabilir olduğunu göstermiştir. Isıtma ya da soğutma derece gün değeri uzun dönem ölçü verileri kullanılarak belirlenmiştir. Bu endeks günlük sıcaklıktan 18 derece çıkarılarak ve bir tam yılın sabit bir periyodunun üzerindeki sadece pozitif değerlerin toplanmasıyla hesaplamıştır. Isıtmada enerji talebi için benzer bir endeksin günlük ısıtma derecesiyle temsil edilir olduğunu belirtmiştir. Isıtma derece gün değerinin genellikle yapı enerji yönteminde kullanıldığını ifade etmiştir. Yapı performans hatlarının inşaatı için, olabildiğince yapının izlenmesini, yakın meteorolojik durak ile doğru yapı temel sıcaklığına sahip olması gerekliliğini saptamıştır [11].

Özel ve Pıhtılı (2006), Elazığ'da hem kış şartlarında hem de yaz şartlarında dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığını soğutma derece gün değerlerine göre belirlemişlerdir. Hesaplamalar Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için yapılmıştır. Dış duvarlara Ekstrüde polistren yalıtımı uygulanarak, artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Sonuç olarak, incelenen illere göre yalıtım kalınlığının 0.04 ve 0.084 m arasında değiştiği, yıllık tasarrufun 21.94 ile 97.12 YTL/m² arasında değiştiği ve geri ödeme süresinin ise 1.45 ile 2.05 yıl arasında değiştiği görülmüştür [12].

Derya, Özkan ve Onan (2006), çalışmalarında ısıtma eğrileri ve dış cephelerde optimum yalıtım kalınlığının tespiti için P1–P2 metodunu kullanmışlardır. Çalışmalarında 4 farklı yakıt türü ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü seçmişler, sonuçları grafiklerle göstermişlerdir. Yakıt tüketimini farklı yakıt türlerine göre, yanma sonucu çıkan CO₂ ve SO₂ gibi gazların emisyonlarına bağlı olarak değerlendirmişlerdir. XPS (Extrude Polistren Köpük) malzemesi ve yakıt türü olarak doğalgaz kullanılarak yapılan çalışmada, dış

duvarla cam alanı oranı 0.2 (cam alanı yüzdesi) olduğu durumda dört bölge için 1.bölge, 2.bölge, 3.bölge, 4.bölge, yalıtımın sırasıyla; 13.996, 31.680, 46.613 ve 63.071 $\$/m^2$, yatırım ve geri ödeme süresinin ise sırasıyla; 1.346yıl, 1.498, 2.023, 1.836olduğunu tespit edilmiştir. Optimum yalıtım malzemesi (XPS) veya başka malzeme kullanılırsa ve doğal gaz kullanıldığı durumlar için CO₂emisyon oranları % 50.91 oranında azalmıştır. XPS ve Fuel oil kullanıldığında ise CO₂ ve SO₂ emisyonları optimum yalıtım malzemesi durumlar için % 54.67 azaltılır sonucunu çıkartmışlardır [13].

Aytaç ve Aksoy (2006), yaptıkları çalışmada Elazığ ili için beş farklı yakıt türü kömür, doğalgaz, fuel oil, LPG, elektrik ve iki farklı yalıtım malzemesi (genleştirilmiş Polistren, taş yünü) için optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Bu hesaplamaları dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı duvar modeli üzerinde yapmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda dikkate değer enerji tasarrufları sağlandığını ifade etmişlerdir. En iyi sonucu, yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak genleştirilmiş polistren kullanıldığında elde etmişlerdir. Dıştan yalıtımlı bir binada 4.6 yıl geri dönüşüm süresi ve yılda 16.359 $\$/m^2$ tasarruf elde etmişlerdir. Sandviç duvarda ise bu değerler 4.2 yıl ve 20.188 $\$/m^2$ olmuştur [14].

Gölcü (2007), hazırlamış oldukları çalışmada Denizli ili için dış cephenin optimum yalıtım kalınlığını hesaplarken, 5 farklı enerji kaynağı ve yalıtım malzemesini karşılaştırılmışlardır. Yaşam döngüsü maliyeti analizine bağlı olarak elde edilen sonuçlara göre optimum değere yalıtım malzemesi için genişletilmiş polistren ve enerji kaynağı olarak da kömür kullanıldığında erişmişlerdir. Optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığında enerji tüketiminin % 46.6 ya kadar düştüğünü ve CO₂ ve SO₂ atılımlarının % 41.53'e kadar indirildiğini göstermişlerdir [15].

Kaynaklı ve Yamankaradeniz (2008), bir bölgenin derece gün (DG) sayısının hesaplanmasına ve dış duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının tespitine yönelik çalışmalar yapmışlardır. İlk olarak güncel dış hava sıcaklık verilerinden yararlanarak DG değeri ve yıllık ısıtma enerji gereksinimlerini hesaplamışlardır. Yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda yıllık yakıt giderlerini farklı yalıtım kalınlıkları için

ıkartmışlardır. Yakıt giderlerine, yalıtım maliyetlerini de ekleyerek ısınma için toplam maliyet elde etmişlerdir. Daha sonra faiz ve enflasyon oranlarını da dikkate alarak yaptıkları ömür maliyet analizlerinde, yıllık yakıt giderlerinin bugünkü değerini hesaplamışlardır. Farklı yalıtım kalınlıkları için maliyet eğrilerini oluşturularak, toplam maliyeti minimum yapan yalıtım kalınlığını belirtmişlerdir. Analizler farklı duvar tipi ve (DG) içinde yapılarak bulgular ülkemizdeki çeşitli iklim bölgeleri için genişletilmiştir [16].

Layberry (2009), İspanya’da yaptığı çalışmada 77 bölge için haftalık ve aylık olarak 10.5  C’den 20  C’ ye temel yapı sıcaklıkları alanında yeni derece gün değeri veri seti meydana koymuştur. Gerçek saatsel sıcaklıkları kullanarak, hesapladığı derece gün değeri ile kıyaslamıştır. Bölgeleri ortalama yalıtım malzeme kalınlıklarının yaklaşık değerlerine göre dört bölgeye ayırarak, derece gün değerlerine göre optimum oranın belirlenebilirliğini göstermiştir. [17].

Jinghua Yu (2009), in’de Shanghai, Changsha, Shaoguan ve Chengdu gibi 4 farklı karakteristik şehirleri seçmiş ve bunları sıcak yaz ve soğuk kış bölgelerine göre ayırarak, derece gün değerlerine göre tipik duvar modelini kullanarak, dört farklı yalıtım malzemesinin (Extrude polistren, genleştirilmiş polistren, köpüklü polistren ve polvin klorid) optimum yalıtım kalınlıklarını 0.053 m den 0.236 m arasında değişen oranlarda hesaplamıştır. 20 yıllık ömür baz alındığında geri dönüşüm süreleri 1.9 dan 4.7 yıl aralığında değiştiğini analiz etmiş ve yalıtım malzemesi olarak da genleştirilmiş polistren en düşük geri dönüşüm periyodundan dolayı en ekonomik yalıtım malzemesi olarak belirlenmiştir [18].

3. YALITIM

Yalıtım, Arapça kökenli tecrit ve Fransızca kökenli izolasyon kelimelerinin karşılığı olarak, yakın zamanlarda Türkçeye giren, yeni sayılabilecek bir sözcüktür. Bu tanıma yakın çalışmalar yaratan yalıtım sözcüğü, yapı sektörü söz konusu olduğunda ise teknik bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Yalıtım kısaca, ‘kullandığımız binaların dışsal etkilere karşı korunması olarak tanımlanabilir. Yalıtım genelde, ısı, su, ses ve yangın yalıtımı olarak çeşitlendirilebilir [19].

Yalıtım; malzeme üretiminden uygulamasına kadar titizlik, hassaslık, çok yönlü detay çalışmasını gerektiren ve birçok bilim dalını ilgilendiren bir sistem bütünüdür. Bu nedenle, yalıtımda, ulusal ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması ve rasyonel çözümlere varılabilmesi için ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat, mimarlık vb. bilim dalları bir eşgüdüm içerisinde bulunmaktadır [20].

3.1. Yalıtımın Amacı

Bir yapının yapılış amacına uygun olarak, kullanıcılarına hizmet vermesi ve değerini yıllarca koruyabilmesi, ancak iç ve dış olumsuz etkenlere karşı iyi korunmuş olmasına bağlıdır. Yapıların iç ve dış faktörlerden korunabilmesi de yalıtım yapıp yapılmamış olmasıyla ilgilidir. Yalıtım; binayı, taşıyıcı sistemi ve yapı bileşenleri ile birlikte, tüm bu iç ve dış faktörlerden korumayı, sağlıklı ve konforlu mekânlar oluşturmayı hedefler. Yalıtım, hem yapıyı hem de kullanıcıları korumaya yönelik önlemleri içerir. Yalıtımın amacı, yapıların ömrünü uzatmak, bakım masraflarını azaltmak ve kullanıcı için sağlıklı, huzurlu, rahat kullanılabileceği mekânlar oluşturmaktır [3].

3.2. Isı Yalıtımının Faydaları

İnsanların yaşam kalitesinden ve konforundan ödün vermeden, enerji tasarrufu sağlamak için alınabilecek üç önlem vardır. Bunlar, yüksek verimli cihazların kullanılması, otomasyon sistemleri ve ısı yalıtımıdır. Bu üç önlem arasında ilk sırayı ise ısı yalıtımı alır.

Etkin bir ısı yalıtımının yapılmadığı binalarda, enerji tüketimi çok fazladır. Hesaplamalar, etkin bir ısı yalıtımı ile yapılarda ortalama %50 enerji tasarrufu sağlanabileceği ortaya koymaktadır [21].

Kapalı ortamlardaki ısı koşullar, o ortamda yaşayan insanların konforunu ve sağlığını doğrudan ilgilendirir. İnsanların çalışma verimlerini büyük ölçüde bulundukları ortamın sıcaklığı belirler. Çalışma ortamının ısı koşulları, insanların bedensel ve zihinsel üretim hızını doğrudan etkiler. Çok soğuk ya da çok sıcak ortamların çalışma verimini düşürdüğü belirlenmiştir. Yine çok soğuk ortamların yol açtığı sağlık sorunları da iş gücü kaybına buna bağlı sağlık harcamalarına neden olur. Ortam sıcaklığının iş yerlerinde iş kazalarına da yol açtığı belirlenmiştir [3].

3.3. Yalıtımın Türleri

Yalıtım genel olarak iki başlık altında ele alınır. Bunlardan ilki, yapıyı koruyan önlemler ve diğeri de kullanıcıyı koruyan önlemlerdir. Her bina, belirli bir çevrede yer alır ve bu çevreden gelen olumsuz etkilerle karşı karşıyadır. Yalıtım önlemleri de bu dış etkenleri denetlemeye yöneliktir. Binayı dıştan etkileyen ve binaya zarar verebilecek başlıca etkenler şu şekilde sıralanabilir: güneş, kâr, rüzgâr, yağmur, sızıntı suyu, kılcal su, zemin suyu, aşırı sıcak ya da soğuktur [19]. Binaya zarar verebilecek bu etkenlerin yanında, kullanıcıya doğrudan zarar verebilecek ses, gürültü etkileri ya da yangın tehlikesi gibi etkenler de söz konusudur. Bu etkenlerden hareketle yalıtım dört ana başlık altında toplanır.

- Isı yalıtımı
- Su yalıtımı
- Ses yalıtımı
- Yangın yalıtımı

Yalıtım, binanın yapılacağı arsanın seçimiyle başlayan, binanın tasarımını, yapımını ve kullanım aşamasını da içeren bir süreç içerisinde gerçekleştirilir. Binanın karşı karşıya kalacağı dış etkenler; coğrafyaya, iklim koşullarına, bina yapılacak arsanın konumuna,

imar bilgilerine, yapılacak binanın işlevine, kullanıcıların istek ve beklentilerine bağlı olarak değişir [19].

Yapıların yalıtım gereklilikleri, [19]'daki etkenlere göre belirlenir. Örneğin, otoyol yakınındaki bir arsada yapılacak binada ses yalıtımına özellikle önem vermek gerekecektir. Yağışların bol olduğu veya basınçlı yer altı sularının bulunduğu bir bölgede ise, binayı hem su hem de neme karşı koruyacak yalıtım uygulamaları ön plana çıkacaktır [20].

3.4. Isı Yalıtım Malzemeleri

Isı yalıtım malzemeleri sıcak ve soğuğa karşı koruma amaçlı, genelde gözenekli yapılı malzemelerdir. Isı transferine karşı koyarak mevcut ısıнын uzun süre korunmasını sağlayan düşük ısı iletkenliğine sahip malzemelerdir [22].

Düşük ısı iletkenliğine sahip olan malzemeler ısı yutucu malzemeler olarak sınıflandırılır. Katmanlı, sınırlayıcı yapı elemanlarında, her iki ortamdaki ısısal koşulları, kapalı ortam ve yapının bileşenleri yönünden istenen bir düzeyde dengede tutabilmek amacıyla, ısı geçirme dirençleri nispeten yüksek seçilen yapı gereçleridir. Isı yalıtım malzemesi, yüksek sıcaklıklı alandan düşük sıcaklıklı alana, doğal ısı geçişine karşı bir bariyer oluşturan malzemelerdir [23].

Malzemelerin ısı yalıtım değerleri, malzeme içindeki hava boşluğu oranında artmaktadır. Isı yalıtımında, içindeki hava boşluğu oranı çok, dolayısıyla yoğunlukları az olan tabii malzemeler ve suni olarak ısı yalıtma özelliği kazandırılmış malzemeler kullanılmaktadır. ISO ve CEN standartlarına göre ısı iletim katsayısı 0.065 W/mK değerinden düşük olan malzemelere ısı yalıtım malzemeleri denir [3].

Isı yalıtım işleminin amacına tam ulaşması ve en iyi verimi alabilmek için ısı yalıtımında kullanılan malzemeleri ve bunların uygulamalarını çok iyi bilmek gereklidir. Günümüzde ısı yalıtımı, gelişen teknolojiye bağlı olarak daha farklı yapıların (akıllı binalar, gökdelenler, uzay araçları, vb) ortaya çıkması ve insanın konfor anlayışının

değişmesinin sonucu, yalıtımın ve yalıtım işleminde kullanılan malzemelerin anlamı ve fonksiyonu da değişmiştir. Piyasa şartlarında bulunması kolay olan ve bu çalışmamızda kullandığımız yalıtım malzemelerimiz ise (XPS) ve (EPS) olarak belirlenmiştir [24].

3.4.1. Extrude polistren köpük (XPS)

Ekstrüde polisten köpük, polistren hammaddesinin ekstrüzyonla levha halinde çekilmesiyle üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Ekstrüde polistrenin avantajlarının kaynağı üretim teknolojisini oluşturan haddeleme (ekstrüzyon) işlemi ve bunun sonucunda ortaya çıkan kapalı gözenekli hücre yapısıdır. Malzemenin hammaddesi olan tanecikler halindeki polistren, üretim hattına girdikten sonra eritilir, başka katkı maddeleri eklenip ve köpük yapısının sağlanabilmesi için şişirme ajanı ilave edilir. Bu karışım belirli ısı ve basınç koşulları altında bir hat boyunca istenilen kalınlıkta çekilir. Hatta çıkan malzemenin boyunun ve yüzey yapısının (kenar binileri, kanallar vepürüzler) ihtiyaçlar doğrultusunda düzenlenmesiyle son ürün elde edilmiş olur. Bu üretim sürecinin çok değerli bir diğer getirisi malzemenin homojen ve kalitesinin hep aynı seviyede tutulabilmesidir. Bu sürecin sonucunda bal peteği formunda hücre çeperlerinden oluşmuş, kapalı gözenekli hücre yapısına sahip ekstrüde polistren köpük elde edilmiş olur. Sürekli ve düzenli hücre yapısı ve kanalı gözeneklilik ekstrüde polistreni suya ve zamana karşı dayanıklı yapar, yalıtım becerisi ve yüke karşı dayanımının yüksek olmasını sağlar [5].

Polistren termoplastiktir [5]. İşlendikten sonra yeniden üretim hattına sokulabilir. XPS üretiminde şişirici gaz olarak HCFC (hidrokloroflorokarbonlar) kullanılmaktadır. Üretimde açığa çıkan HCFC ozon tabakasına zarar vermektedir [3].

3.4.2. Ekspande polistren köpük (EPS)

Ekspande Polistren Sert Köpük (EPS-Genleştirilmiş Polistren Köpük), petrolden elde edilen köpük halindeki termoplastik, kapalı gözenekli bir ısı yalıtım malzemesidir [3].

Polistren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilen EPS ürünlerde, taneciklerin şişirilmesi ve köpük elde edilmesi için kullanılan gaz pentandır[5]. Pentan tanecikler içinde çok sayıda çok kısa sürede hava ile yer değiştirir. Böylece EPS levhaların bünyesinde bulunan (1m^3 EPS 'de 3-6 milyar) küçük kapalı gözenekli hücreler içinde durgun hava hapsolür. Malzemenin %98 'i hareketsiz ve durgun havadır. EPS üretiminde son aşama olan şekil verme (kalıplama) aşamasında, taneciklerin birbiri ile sıkıca kaynaşması sağlanır. EPS blok halinde ve kesilmek suretiyle levha haline getirilir veya levha şeklinde kalıp içinde genleştirilerek üretilebilir [5].

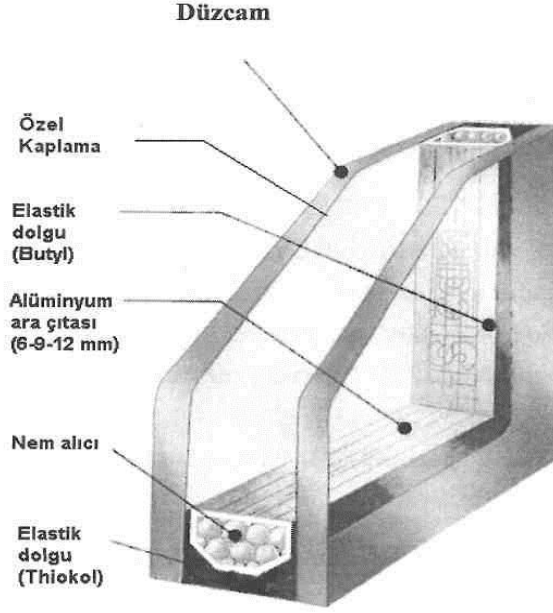
3.5. Isı Yalıtımının Yapılma Şekli

Isı yalıtımı binaların; çatılarına, dışa veya garaj, depo gibi kullanılmayan bölümlere bakan duvarlarına, toprak veya içerisinde yaşanmayan mahaller ile daireleri ayıran döşemelerine, tesisat boruları ile havalandırma kanallarına yapılır. Ayrıca özel kaplamalı yalıtım camı üniteleri ve yalıtımlı doğramalar kullanılarak kışın pencerelerden oluşan ısı kayıpları azaltılır, yazın binaya güneş ısı girişi sınırlanır. Böylece ısıtma ve soğutma için harcanan enerjiden tasarruf sağlanır [25].

Duvarların yalıtımı binanın dışından, içinden veya iki duvar katmanının arasından yapılabilir. Dıştan yapılan uygulamalar ile cephenin tümüne ısı yalıtım malzemeleri sabitlenebildiğinden; ısı köprüleri oluşmaz. Aynı zamanda uygulama dış taraftan yapıldığı için duvarlar sıcak kalır ve yoğuşma meydana gelmez [3].

Pencerelerde iyi bir ısı yalıtımı, kaliteli, sızdırmaz, doğru uygulanmış ve düşük ısı geçirgenlik değerlerine sahip doğramalar ve yalıtım camı üniteleri ile mümkündür (Şekil

3.1). Bununla birlikte, binalardaki kapılar da enerji verimliliği göz önüne alınarak seçilmelidir [22, 3].



Şekil 3.1. Pencereelerde iyi bir ısı yalıtımı

3.6. Konutlarda Enerji Ekonomisi

Konutlarda enerji ekonomisinin başlıca yolu ısı yalıtımından geçmektedir. Isı yalıtımı, kullanılan enerjiden tasarruf sağlanması nedeniyle bir parasal tasarruf ortaya çıkartmaktadır. Isı yalıtımıyla ortaya çıkan diğer bir sonuç, daha az yakıt ve daha az baca gazı nedeniyle çevre kirliliğini azaltıcı etkisi vardır [26].

3.6.1. Isıl konfor

Isıl konfor ve iç hava kalitesi, bireyin bir ortamdaki ısı şartları içinde kendisini rahat hissetmesi ve bu şartlardan doğan sağlık sorunları ile karşılaşmayacağı ortamın özellikleridir [5].

İç hacimlerin konfor durumunun belirlenmesinde, iç hacim hava sıcaklığı, iç bağıl nem, iç hacim hava hızı, malzemelerin ısı depo etme yeteneği ve iç yüzey sıcaklıkları etkili olmaktadır, iç yüzey sıcaklığı konfor ortamının belirlenmesinde bir faktör olmaktadır. İç yüzey sıcaklıklarının konfor sıcaklıklarında olması yakıt tüketimini de azaltacaktır, iç yüzey sıcaklıklarının düşük olması hava akımlarını artıracığından, iç ortam sıcaklığı normal düzeyde olsa bile konforsuzluk ortaya çıkartacaktır [19].

3.6.2. Yapı

3.6.2.1. Bina yapısını belirleyen unsurlar

Bir binanın yapısını belirleyen unsurlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- a- Duvarları oluşturan ana malzemeler (taş, tuğla, beton, briket, vb.) iç ve dış sıva cinsleri, varsa ısı yalıtımı cinsi; bunların kalınlıkları, duvarların boyutları, zemin veya bodrum kat duvarlarının toprağa bitişik olup olmadığı,
- b- Pencere ve kapıların boyutları, yapılış şekli ve cinsi, malzemeleri ve açılan kısımların boyutları,
- c- Döşemelerin yapısı, malzemeleri, kalınlıkları, boyutları ve döşemenin durumu,
- d- Açık geçit üzerindeki döşeme (dış hava teması),
- e- Ara kat döşemesi,
- f- Tavanların yapıları, malzemeleri, kalınlıkları, boyutlar ve tavanın durumu:
 - Üzeri çatı ile örtülmüş tavan,
 - Düz çatı ve teras döşemeleri (dış hava temaslı tavan),
 - Ara kat tavanı.
- g- Çatıyı oluşturan yapı malzemeleri ve kalınlıkları, çatının şekli, varsa ısı yalıtımı cinsi, çatı arası duvarlarının yapısı, malzemeleri, kalınlıkları ve boyutları [26].

3.6.2.2. Binanın konumunu belirleyen unsurlar

Bir binanın konumunu belirleyen unsurlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- a- Binanın bulunduğu kent projeden saptanır. Kentin dışı hava sıcaklığı ve rüzgâr durumu ilgili çizelgeden alınır.
- b- Binanın kuzeye bakan cephesi mimari projenin vaziyet planında görülür ve belirlenir.
- c- Binanın korunmuş, serbest ya da çok serbest olan konumu vaziyet planından anlaşılır.

Tüm bu bilgiler binayı çevreleyen dış koşullarla ilgili olup, gerekli sayısal değerleri seçmek için bilinmelidir [27].

3.6.2.3. Binanın kullanma amacı

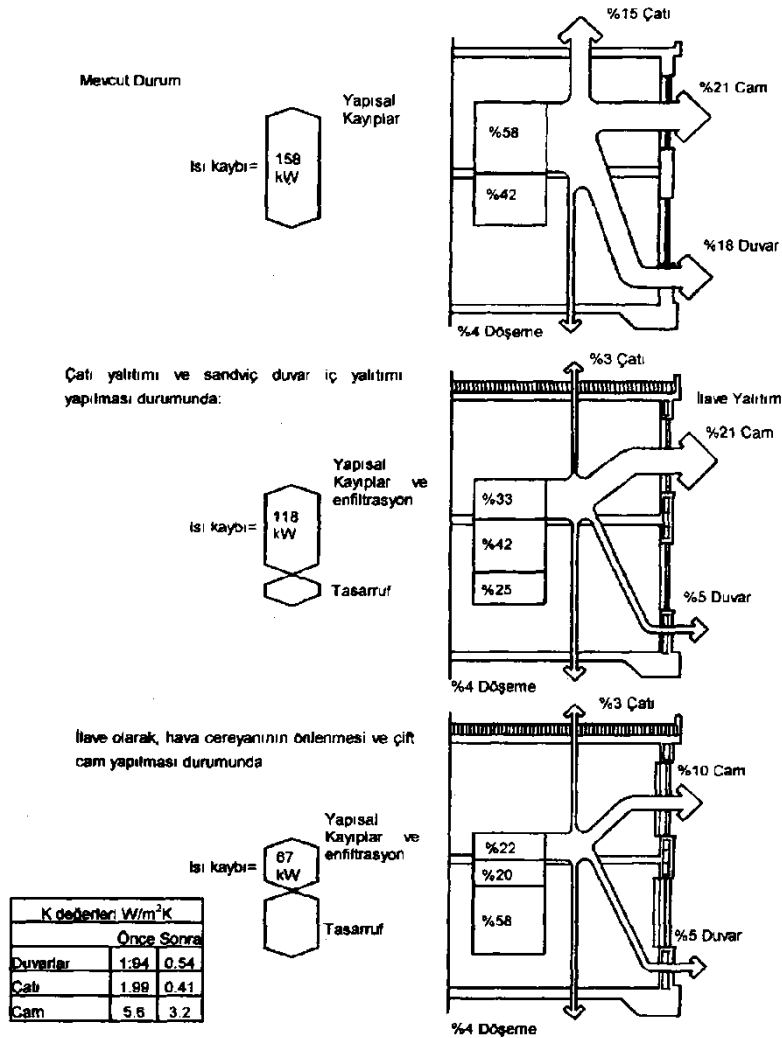
Binanın kat planları ve kesit resimlerinden her hacmin (veya odanın) dış hava ve komşu hacimlerle ilişkisi anlaşılır. Böylece her odanın ısı kaybeden duvar, pencere, kapı, döşeme ve tavan gibi yapı bileşenleri ile bu bileşenlerin iki tarafındaki sıcaklıkların farkı belirlenir. Binanın kullanma amacı mimari projenin başlığından anlaşılır. Binanın konut, büro, okul, hastane, fabrika vb. amaçlar için kullanılması ısıtıcı cinsi ve işletme durumunu seçmek için gereklidir [3].

3.7. Binalarda Isı Kaybının Azaltılmasında Yalıtım ve TS825

Binalarda ısı yalıtım, TS825' de, değişik sıcaklıklarda bulunan iç hacim ile dış hava arasındaki ısı akışını azaltıcı önlemlerin tamamı olarak tanımlanmaktadır. Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğru akmaktadır. Yani ısınan iç ortamdan dış ortama doğru bir ısı akışı söz konusudur, içeride yeterli konfor ortamının sağlanabilmesi için kaybolan ısı, bir ısıtma sistemi ile karşılanmalıdır. Kaçan ısıyı en aza indirebilmek için çeşitli yollarla yalıtım yapılması gerekmektedir [28].

3.7.1. Pencere

Türkiye sıcaklık kuşakları bakımından üç iklim bölgesine ayrılmıştır. Sıcak iller I. bölgede, orta sıcaklıktaki iller II. bölgede, soğuk iller ise III. bölgede toplanmıştır. Her bölge için Bayındırlık Bakanlığı tarafından yapı bileşenleri için minimum ısı geçirgenlik dirençleri belirlenmiştir. Şekil 3.2' deki örnek resimden de anlaşılacağı üzere, soğuk illerde ısı kaybı daha fazla olacağından bu bölgelerdeki yapılarda daha büyük ısı geçirgenlik direnci aranmaktadır [7].



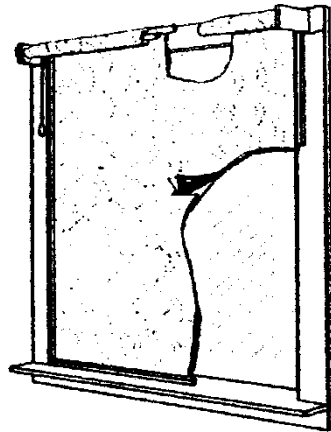
Şekil 3.2. Duvar yalıtım modelleri

Yönetmelikte ortalama ısı geçiş katsayısı için de bir sınırlama getirilmiştir. Pencere ve dış duvar alanlarının kendi ısı geçiş katsayıları ile çarpımlarının alanlarına oranı ortalama bir ısı geçiş katsayısı oluşturmaktadır. Bulunan bu ortalama ısı geçiş katsayısı için de bölgelere bağlı olarak bir sınırlama getirilmiştir [29].

Pencerelerin olabildiğince küçük yapılması enerji tasarrufunun ilk adımıdır. Kış aylarında birim alandan en çok ısı kaybı pencerelerden olmakla birlikte güneşli günlerde bir ısı kazancı da söz konusu olabilmektedir. Çift cam uygulamasıyla pencerelerden kaçan ısı en aza indirilebilmektedir [3].

Çift cam özel bir şekilde imal edilmekte, iki cam arasına 6, 9, 12 mm boşluk (kuru hava) bırakılarak birleştirilmektedir. Ahşap ve plastik çerçevelerin metal çerçevelere göre ısı iletimi bakımından daha dirençli olduğu bilinmektedir. Pencerelerin açılan kısımlarından hava sızıntısı enfiltrasyon yoluyla olan ısı kaybının azaltılması için fitil ve conta tipi uygulamalar yapılmaktadır [3]. Pencerelerin akşam saatlerinde yalıtımlı bir kepenkle kapatılması da ısı kayıplarını büyük ölçüde azaltacaktır, içi cam yünü ile kaplı bir kepenk uygulaması ile (akşam 17.00 sabah 06.00 arası) %17 mertebesinde yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir [29].

Pencerelerin iç kısımları için yalıtımlı perde kullanılması önerilmektedir. Şekil 3.3' de görülen uygulamada, perdenin önü ve arkası aşınmaya dayanıklı malzemedir, arası ise sandviç şeklinde ısı yalıtım malzemesi ve nem tutucu katmandan oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Pencere içi Yalıtımlı Perde Uygulaması

3.7.2. Çatı

Binalarda ısı kayıplarının önemli bir bölümü çatılardan olmaktadır. Çatının şekline (üzeri açık dış tavan, teras, üzeri çatı ile örtülü tavan gibi) göre uygulanacak yalıtım şekli değişmektedir. Isı kaybı açısından üzeri çatı ile örtülü tavan en uygun çatı tipidir. Teras şeklindeki çatıların yalıtımı pahalı ve zordur [30].

3.7.3. Duvarlar

Duvarların yalıtımı da ısı kaybı hesabı sonucunu değiştiren önemli faktörlerden birisidir. Çünkü bir yapının %20-30 dış duvarlardan olmaktadır. Bu amaçla dış duvarların ısı iletim katsayısı k ile ısı direnci (W/mK) için standartlar geliştirilmiştir. Duvarın yalıtımı içten veya dıştan olabilir [8].

Tek katman dış duvarlar, dıştan bir yalıtım tabakası ile ıslah edilebilir. Dıştan yalıtımın yararları şunlardır:

- Kuvvetli sıcaklık değişimlerini ve dolayısıyla arzu edilmeyen iç gerilmeleri çatlakları ve yapı hasarlarını önler.
- Dıştan yalıtım yapıya yeterli bir ısı depolama yeteneği sağlar. Bu durum yaz ve kış iç ortam sıcaklığının dengede tutulmasına yardımcı olur.
- Dıştan yalıtımla bina dış cephesinde her türlü giriş kolon, hatıl, ısıtıcı nişi, tesisat kanalı gibi ısı köprüleri eksiksiz yalıtılmış olur.
- Isı tutucuların yüksek ısı yalıtım değeri sayesinde duvar kesitinde azaltma yapılabilir, faydalı alan kazanılır.
- Isı yalıtımı optimum kalınlıkta olur.
- Yapının dış sıvası bozulduğu zaman, tamirinde dıştan ısı yalıtımı daha uygulanır.
- Yapının ömrü ve dayanıklılığı artar.
- Yoğuşma seviyesi en az seviyededir.

Duvarların içeriden yalıtımı içinde şunlar ifade edilebilir:

- Dıştan yalıtımın aksine burada arzu edilmeyen ısı köprüleri açıkta kalmaktadır (Döşeme ve iç duvarların yalıtımı). Bu ısı köprülerinin yalıtılması ise kısmen mümkündür.
- İçeriden yalıtılmış duvarların düşük ısı depolama kabiliyeti olmaktadır. Bunun sonucu yazın dış duvarların iç ortam sıcaklığını dengeleyici etkisi ortadan kalkmakta, kışında iç ortam hızlı bir şekilde soğumaktadır.
- Kışın iç ortamda yükselecek nemin, soğuk duvar yüzeyinde yoğunlaşarak yapı hasarlarına neden olma ihtimali vardır. Bunun için ısı yalıtımı malzemesinin buhar kesici ile korunması gerekir.
- İçeriden yalıtım cephenin korunması gerektiği hallerde örneğin eski bina yalıtımlarında, kısa süreli ısıtma gereken yapılarda okul; kütüphane gibi yerlerde ve hızlı ısıtılması gereken yapılarda önerilmektedir.
- İçeriden yalıtımın diğer bir avantajı ucuz ve oturanlar tarafından da yapılabilir olmasıdır. Ülkemizde çok yaygın kullanılmayan arası boşluklu olarak inşa edilmiş ve arasının poliüretan gibi yalıtım malzemeleri enjekte edilmiş duvar uygulamaları ile ısı kayıplarını 2/3 oranında azaltmaktadır [8].

3.7.4. Kapılar

Hava sızıntısı ya da hava değişimi yoluyla büyük miktarda ısı kayıplarının olduğu yerdir. Kapılardan olan ısı kaybı kapıların açılan kısımlarının yalıtımıyla ve kapıların açık kalma süresi ile ilgilidir. Sızıntı ile olan ısı kaybının azaltılabilmesi için ahşap çerçevelerde fitil uygulamaları önerilmektedir. Plastik camlarda ise sızdırmazlık sağlayıcı contalar değiştirilmeye gerek duyulmadan uzun süre kullanılabilir. Metal kapılarda ise esnek silikon lastiklerle sızıntı ile ısı kaybı azaltılabilir. Ayrıca kapı altlarına yerleştirilebilecek fırçalar ve keçeler ile kapı altından olan ısı kaybı azaltılabilir [30].

Uygun yer olması durumunda ikinci bir hol bırakılarak, iç kısıma açılan ikinci bir kapı ile soğuk havanın içeri girmesi engellenebilir. Dış kapılara kendiliğinden kapanan mekanizmalar yerleştirilmesi kapının açık kalmasını engellemesi bakımından yararlı olmaktadır. Bu uygulama hava değişimi ile ısı kaybını azaltmada yararlı olmaktadır. Kapının üstüne aşağı sıcak hava üfleyen bir ısıtıcı yerleştirilerek kapıda bir hava siperi oluşturulabilir [30].

3.7.5. Döşeme

Mevcut binalarda döşemeden yalıtım olanakları oldukça sınırlı ve pahalıdır. Ancak döşemenin değişmesi gerektiği durumlarda uygulanabilir. Döşeme yalıtımı nem ve havalandırma gibi özel önlem alınmasını gerektirdiğinden uzmanlık istemektedir. Döşeme yalıtımı döşemenin altından uygun bir yalıtım malzemesi (yalıtım levhası gibi) uygulaması ile yapılır [31].

3.8. Yapı Elemanların Boyut ve Fiziksel Özelliklerinin Enerji Ekonomisine Etkisi

Yapı elemanlarından olan ısı kaybı:

$$Q = A \cdot k \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

eşitliğiyle hesaplanabilmektedir [1]. Dış sıcaklığa müdahale edilemediğinden, iç sıcaklıkta konfor durumuna göre seçildiğinden, alan ve k ısı geçiş katsayısının küçülmesiyle ısı kaybında azalmalar sağlanabilmektedir. Hesaplanan bu zamsız ısı kaybına eklenen zamların incelenmesiyle de tasarruf sağlanabilmektedir, örneğin binaların pencere yönlerinin güneğe çevrilmesi bunda etkili olabilmektedir [25].

Isı geçiş katsayısının küçültülmesi için de ısı direncini büyüten faktörler incelenir. Bu amaçla ya ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı artırılır. Ya da ısı iletim katsayısı daha düşük malzemeler kullanılır [3].

Bina dış yüzey renginin seçimi bile ısı kaybının etkilemektedir. Bina rengi açıldığında ısı kazancında da azalmalar meydana gelmektedir [25].

3.9. Isı Yalıtımının Çevre Kirliliğine Etkisi

Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların yanması sonucu karbondioksit (CO_2) ve kükürt dioksit (SO_2) gibi büyük miktarlarda atık gaz çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu atık gaz (özellikle karbondioksit) dünyanın geri yansıttığı güneş ışınlarını da tutarak dünya sıcaklığının artmasına yol açmaktadır. Bunun uzantısında gelecek yıllarda iklim değişiklikleri beklenmektedir [7].

Kükürt esaslı baca gazı atıkları havadaki su ile birleşerek sülfürik asit oluşturarak asit yağmurlarına neden olmaktadır. Asit yağmurları da bitki örtüsü ve yapıları tahrip etmektedir [3].

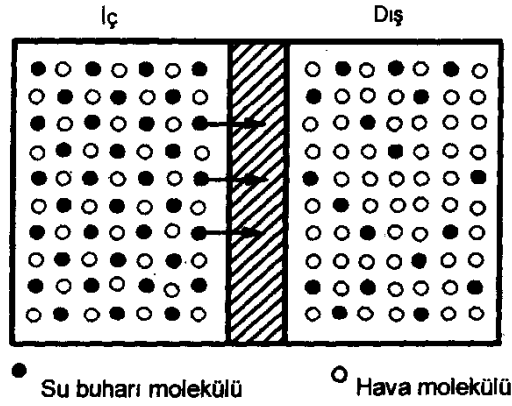
Çevre Bakanlığından sağlanan bilgilere göre 1981 yılından itibaren 9 yılda karbondioksitten kaynaklanan emisyonlarda %52' lik bir artış meydana gelmiştir. 1988 yılından itibaren iki yıllık SO_x emisyonu artışı %20 civarında olmuştur. 1989 yılında ısınmadan kaynaklanan SO_x emisyonları İstanbul'da 200.000 ton, Ankara'da ise 100.000 ton civarındadır. Dünya geleceğini tehdit eden zararlı emisyonları azaltmak amacı ile bu konuda çeşitli kararlar alınmaktadır [20].

3.9.1. Su Buharı Geçişı ve Terlemenin Kontrolü

Terleme, hava içindeki su buharının temas ettiği yüzeyin sıcaklığı, yoğuşma noktası sıcaklığının (çiğ noktası sıcaklığının) altına düştüğü zaman yüzeyde su zerrecikleri oluşmasıdır. Binalarda ısı kayıp hesapları yapılırken, bir malzeme kalınlığı ve ısı geçişı direnci belirlenmelidir. İzolasyon malzemesi konulan duvarda, ısı geçirme katsayısı tayininde yoğuşma kontrolü yapılmazsa, duvarlarda küf, mantar üremesi gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir [21].

Su buharı geçişi, yapı malzemesinin iki yüzü arasında, su buharının kısmi basınçları farklı olursa, yüksek basınçtan, düşük basınç yönüne doğru duvar gözeneklerinden su buharı moleküllerinin geçişi olarak tanımlanmaktadır. Duvar yüzey sıcaklığı, içerideki havanın çiğ noktası sıcaklığı üzerinde ise terleme görülmez. Terleme, yapı elemanın ısı geçirme direncinin yeterli seçilmesi ile önlenebilmektedir [25].

Su buharı geçişi buhar basıncının yüksek olduğu taraftan düşük olduğu tarafa doğrudur. Şekil 3. 4' de su buharı difüzyonun iç duvardan dış duvara geçişi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Su Buharı Difüzyonu Şeması

Isı ve buhar iletiminin benzerliğinin yanı sıra su buharı ısıya göre çok daha yavaş ilerlemektedir. Pratikte su buharı difüzyonu akımı 24 saat içerisinde geri döner. Difüzyon zararlarının sonuçları yıllar sonra ortaya çıkar. Bunun önlenmesi için yalıtım malzemesi ile birlikte buhar kesici kullanılması önerilmektedir [5].

3.9.2. Binalarda Projelendirme Aşamasında Alınabilecek Enerji Tasarrufu Önlemleri

3.9.2.1. Binanın konumu

Bina yerinin seçilmesi ısı ihtiyacını da önemli ölçüde etkilemektedir. Bina ne kadar rüzgâra açık bölgede ise ısı kaybı o kadar fazla olacaktır. Binaların rüzgâra açık yönlerinde ağaçlandırma yapılması rüzgâr kırıcı etkisi ile ısı kaybını azaltmada yardımcı olacaktır. Bloklar halindeki bina yerleşiminde hâkim rüzgâr yönü dikkate alınarak baştaki blok diğerleri için rüzgâr kırıcı olarak tutulabilir. Ancak baştaki yapının önü de ağaçlarla kapatılarak rüzgâr etkisi azaltılabilir. Binanın dışarıya bakan pencerelerinin yönü seçilirken güney ya da kuzey seçilmesi ısı kaybını azaltmada etkili olmaktadır [19].

3.9.2.2. Binadaki odaların yerleşimi

Mimari olarak binadaki odalar yerleştirilirken aynı sıcaklıktaki odaların üst üste konulmasına dikkat edilmeli. Dairelerde ısıtılan ve ısıtılmayan odalar yan yana getirilmemelidir [19].

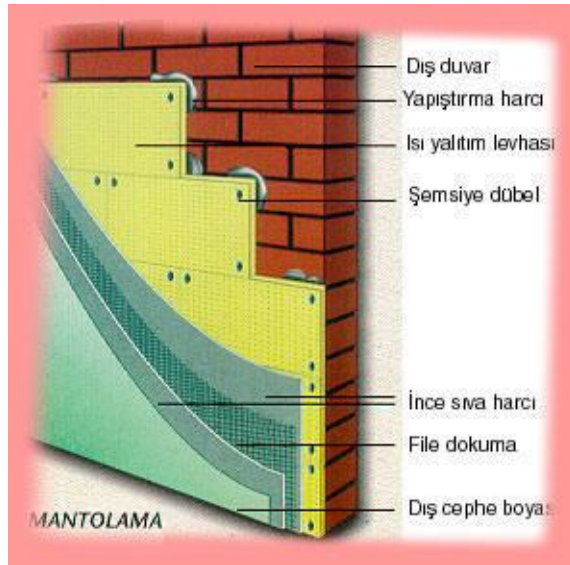
3.10. Bina Dış Duvarlarının Yalıtımı

Binaların dış duvarları doğrudan atmosferik şartlara maruzdur. Binalarda dış duvarlardan olan ısı kaybı binanın yükseklik durumuna göre artar. Diğer bir ifadeyle dış yüzey ne kadar büyürse, ısı kayıpları o ölçüde artmaktadır. Çok katlı binalarda toplam ısıtımın yaklaşık %40'ı dış duvarlar yoluyla kaybolur. Tek katlı binalarda dış yüzeyin küçülmesi nedeniyle, ısı kayıpları %25'e düşer. Bu rakam, Türkiye'nin toplam enerji talebinin % 14'üne karşı gelmektedir. İki tip duvar yalıtım modelleri; dıştan yalıtımlı duvar, içten yalıtımlı duvar şeklinde yalıtım yapılır [21].

3.10.1. Dıştan yalıtım

Dış duvarların yalıtımında duvar yüzeyleriyle birlikte kolon, kiriş, lento, hatıl ve perde duvar gibi yapı elemanlarını da yalıtmak gerekir. Bu elemanların yalıtılmasıyla, ısı köprüleri ortadan kalkar ve yapı elemanları atmosferik şartlara karşı korunur [25].

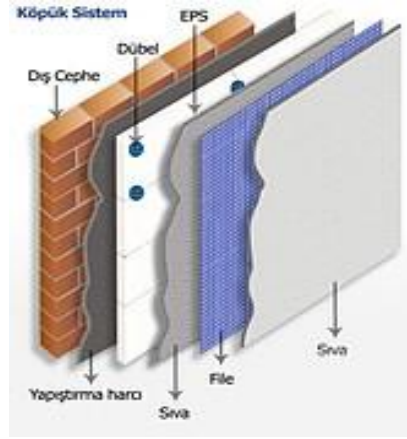
Dıştan yalıtılmış bir dış duvarın yalıtım detayı Şekil 3.5’ de verilmiştir.



Şekil 3.5. Dıştan yalıtılmış bir duvarın yalıtım detaylarının perspektif görünümü

3.10.2. İçten yalıtım

Dış duvarların içten yalıtımı, ancak dış taraftan ısı yalıtımı tercih edilemeyen durumlar için uygulanabilir. Dış duvarlara bağlı olan kolon, kiriş ve perde gibi yapı elemanları, ısı köprüsü oluşmaması için yalıtılmalıdır. Şekil 3.6’ da ise dış duvarların içten yalıtılması ile ilgili olarak detayları göstermektedir [25].



Şekil 3.6. İçten yalıtılmış bir duvarın yalıtım detaylarının perspektif görünümü

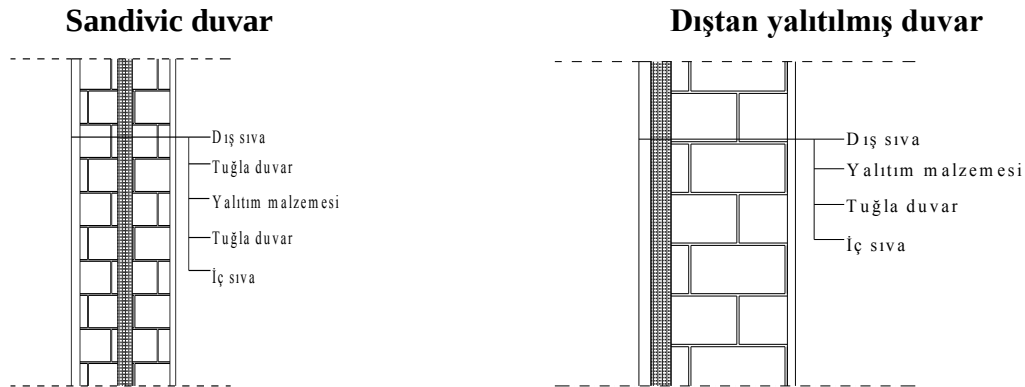
4. YÖNTEM

4.1. Bina Duvarlarının Yapısı

Binayı, dış ortamdaki ayıran ve dış ortam etkilerine karşı koruyan duvardır (dış duvarlar). Aynı zamanda bina duvarı, binanın en çok ısı kaybeden yerlerinden biridir. Dolayısıyla bina duvarının yalıtımı, ısı kaybı hesabı sonuçlarını değiştiren önemli bir faktördür [25].

Klasik yapı malzemeleri ile (delikli tuğla, beton, ahşap vb.) inşa edilen bina duvarında ısı kaybı ve dolayısıyla yakıt tüketimi de fazla olmaktadır. Ayrıca bu tür bina duvarına sahip mekânlar yaz mevsiminde (özellikle güneş alan cephelerde) dayanılmaz derecede sıcak olmaktadır. Bu sakıncaları gidermek, az yakıtle kolay ve iyi ısıtılan, kışın sıcak yazın serin mekânlar elde etmek amacıyla bina duvarı; dıştan yalıtımlı, içten yalıtımlı ve sandviç olarak düzenlenmektedir [3].

Bu çalışmada, binaların dış duvarları iki farklı yapıda seçilmiştir (Şekil 4.1). Bunlardan biri; 2 cm iç sıva, arasında yalıtım malzemesi bulunan 2 parça 13 cm yatay delikli tuğla ve 3 cm dış sıvadan oluşan sandviç duvar, diğeri ise 2 cm iç sıva, 29 cm yatay delikli tuğla, yalıtım ve 3 cm dış sıvadan oluşan dıştan yalıtımlı duvardır.



Şekil 4.1. Hesaplamalarda kullanılan duvar modelleri

Hesaplamalarda yalıtım malzemesi olarak, (EPS) ve (XPS) kullanılmıştır. Malzemelere ait fiziksel özellikler Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

Tablo 4.1’ de sandviç duvar ve dıştan yalıtımlı duvar için ısı iletim ve ısı taşınım katsayıları verilmiştir. Bu katsayılar kullanılarak yalıtım malzemesi hesaba katılmadan duvarların ısı dirençleri hesaplanmış ve Tablo 4.1’ de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Dış duvar malzemelerin fiziksel özellikleri

	Sandviç Duvar			Dıştan Yalıtımlı Duvar		
Malzeme	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m ² K/W)	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m ² K/W)
İç sıva (kireç esaslı)	0.02	0.87	0.02	0.02	0.87	0.02
Yatay delikli tuğla	0.13	0.45	0.28	0.26	0.45	0.64
Yatay delikli tuğla	0.13	0.45	0.28			
Dış sıva (çimento esaslı)	0.03	1.4	0.02	0.03	1.4	0.02
R _i	0.13			0.13		
R _{dış}	0.04			0.04		
R _{duvt} (yalıtım malzemesi hariç, duvar katmanları)	0.77			0.85		

4.2. Derece-Gün Yöntemi

Enerji gereksiniminin tahmini için kullanılan yöntemlerden biri de derece-gün (DG)’dür. DG değeri belirli bir denge sıcaklık (T_b) referans alınarak hesaplanır. Denge sıcaklığı, binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, güneş ışıınımı vs.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Bu nedenle binanın yapısal özellikleri (duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ışıınımı durumu), iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok faktör DG değerinin belirlenmesini etkilemektedir. Bu çalışmada T_b =25°C alınmıştır [7].

Isıtma sezonunda toplam DG sayısı için Eşitlik (4.1) ve (4.2) kullanılabilir.

$$\sum_1^N (T_i - T_0) \quad (T_0 \leq T_b) \quad (4.1)$$

$$DG = 0 \quad (T_0 > T_b) \quad (4.2)$$

Burada T_i iç ortam dizayn sıcaklığı, T_0 günlük ortalama dış hava sıcaklığı ve N ısıtma yapılan toplam gün sayısıdır. Günlük ortalama sıcaklık, gün içindeki ölçülen maksimum ve minimum sıcaklıkların ortalaması alınarak belirlenir.

$$T_0 = \frac{T_{0,min} + T_{0,max}}{2} \quad (4.3)$$

Burada $T_{0,min}$ ve $T_{0,max}$ sırasıyla gün içinde kaydedilen en düşük ve yüksek sıcaklıklardır.

Bu çalışma da Türkiye'deki yedi farklı bölgeden seçilen Balıkesir, Kayseri, Malatya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Trabzon illeri için Tablo 4. 2' de verilen derece gün sayıları esas alınmıştır. Bütün veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2012 verileri olup son 10 yıllık ortalama değerleridir.

Tablo 4.2. İllerin Derece Gün Sayıları

BÖLGE	İLLER	DERECE GÜN DEĞERLERİ
Marmara	Balıkesir	1914
Karadeniz	Trabzon	1724
İç Anadolu	Kayser	3113
Ege	Muğla	1879
Akdeniz	Mersin	852
Güneydoğu Anadolu	Şanlıurfa	1503
Doğu Anadolu	Malatya	2996

4.3. Isı Kayıpları ve Enerji Gereksinimi

Dış duvarın birim yüzeyinde meydana gelen ısı kaybı,

$$q = U \cdot \Delta t \quad (4.4)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada, U ısı geçiş katsayısını ifade etmektedir. Birim yüzeyde meydana gelen yıllık ısı kaybı ise U ve Derece gün sayısı (DGS) kullanılarak hesaplanabilir [16]:

$$q_{yıl} = 86400 \cdot DGS \cdot U \quad (4.5)$$

Yıllık enerji ihtiyacı ise, yıllık birim ısı kaybının sistem verimine bölünmesiyle elde edilir.

$$E_{yıl} = (86400 DGS) / \eta \quad (4.6)$$

Tipik bir duvar için U,

$$U = 1 / (R_i + R_{duv} + R_{yıl} + R_{dış}) \quad (4.7)$$

olarak hesaplanır. R_i ve $R_{dış}$, iç ve dış ısı taşınım direncini, R_{duv} ise duvar katmanlarının ısı yalıtımı olmadan ısı iletim direncini vermektedir. Yalıtım katmanının ısı iletim direnci $R_{yıl}$ ise,

$$R_{yıl} = x / k \quad (4.8)$$

olarak hesaplanır. Burada, x yalıtım malzemesinin kalınlığını, k ise yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını vermektedir. Eğer R_{duv} , R_i ve $R_{dış}$ ' in toplamı olarak R_{duvt} kabul edilirse, (4.4) eşitliği,

$$U = \frac{1}{R_{duvt} + R_{ylt}} \quad (4.9)$$

şeklinde ifade edilir. Sonuç olarak ısıtma için harcanan yıllık enerji miktarı,

$$E_{yıl} = \frac{86400 DGS}{\left(R_{duvt} + \frac{x}{k}\right) \eta} \quad (4.10)$$

olarak hesaplanır.

4.4. Maliyetler ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Birim alanı ısıtmak için kullanılan enerji maliyeti ($C_{yıl}$),

$$C_{yıl} = \frac{86400 DGS C_{ykt}}{\left(R_{duvt} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta} \quad (4.11)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada, C_{ykt} yakıtın birim fiyatını, \$/kg olarak, H_u ise yakıtın alt ısı değerini, J/kg olarak vermektedir. Binanın toplam ısıtma maliyeti, enerji maliyeti, varsa yalıtım maliyeti, gelecek değer faktörü olarak nitelendirilen bir parametre ve belirlenen bir zaman periyoduna göre hesap edilir. Gelecek değer faktörü (GDF), enflasyon (g) ve faiz (i) oranlarına bağlı olarak değişir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Eğer $i > g$ ise

$$r = \frac{i - g}{1 + g}$$

Eğer $i < g$ ise

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \text{ ve}$$

$$GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} \quad (4.12)$$

Burada, N yıl olarak zamanı gösterir ve çalışmada 10 yıl olarak kabul edilmiştir.

Eğer $i=g$ ise,

$$GDF = \frac{1}{1+i}, \quad (4.13)$$

Yalıtım maliyeti (C_{ylt}) ise;

$$C_{ylt} = C_{mlz} \cdot x \quad (4.14)$$

olarak hesaplanır.

Burada, C_{mlz} yalıtım malzemesinin birim fiyatını $\$/m^3$ olarak, x ise yalıtım malzemesinin kalınlığını m cinsinden verir. Sonuç olarak yalıtımı yapılan bir bina için toplam ısıtma maliyeti;

$$C_t = C_{yıl} \cdot GDF + C_{mlz} \cdot x \quad (4.15)$$

veya

$$C_t = \frac{86400 DGS C_{ykt} GDF}{(R_{duvt} + \frac{x}{k}) H_u \eta} + C_{mlz} x \quad (4.16)$$

olarak hesaplanır. Toplam maliyeti minimuma indiren optimum yalıtım kalınlığı ise [4];

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGS C_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt} \quad (4.17)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Eşitlik (4. 17) den anlaşılacağı gibi, optimum yalıtım kalınlığı; yakıt maliyeti, yalıtım malzemesi fiyatı, gelecek değer faktörü, duvarın ve yalıtım malzemesinin fiziksel özellikleri gibi parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir.

4.5. Dıştan Yalıtılmış Duvar ve Sandviç Duvar İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Bu çalışmada yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak da (XPS) ve (EPS) için Türkiye’de her bir coğrafi bölgeden seçilen Balıkesir, Kayseri, Malatya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Trabzon illerinin optimum yalıtım kalınlıklarının hesaplanması amaçlanmıştır.

Balıkesir ili için yapılan optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında kullanılan değerler Tablo 4.3’de verilmiştir. Tablo 4.3’ deki bütün değerler optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılmıştır. Değerler Meteoroloji ve Makina Mühendisler Odasından alınmıştır.

Tablo 4.3. Balıkesir İçin Yalıtım Kalınlığının Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer
DGS	1914
Yakıt	Kömür
H_u	25.122×10^6 (J/kg)
η	0.65
Yalıtım	(EPS)
k	0.032 (W/mK)
Yalıtım	(XPS)
k	0.040 (W/mK)
C_{mlz}	23.88 \$
i	16 (%)
g	10 (%)
N	10 yıl
GDF	1.8

4.5.1. Balıkesir ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^{N-1}}{r(1+r)^N}, \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.85$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt} ,$$

XPS için $x_{opt} = 0.024$ (m), EPS için $x_{opt} = 0.021$ (m) bulunur.

4.5.2. Balıkesir ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^{N-1}}{r(1+r)^N}, \quad GDF = 1.8 \quad R_{duyt} = 0.77$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt} ,$$

XPS için $x_{opt} = 0.033$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.03$ (m) bulunur.

Kayseri ili için optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında kullanılan değerler Tablo 4.4' de verilmiştir.

Tablo 4.4. Kayseri İçin Yalıtım Kalınlığının Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer
DGS	3113
Yakıt	Kömür
H _u	25.122x10 ⁶ (J/kg)
H	0.65
Yalıtım	(EPS)
K	0.032 (W/mK)
Yalıtım	(XPS)
k	0.040 (W/mK)
C _{mlz}	23.88 \$
İ	16 (%)
G	10 (%)
N	10 yıl
GDF	1.8

4.5.3. Kayseri ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g}, \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.85$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt},$$

XPS için $x_{opt} = 0.039$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.036$ (m) bulunur.

4.5.4. Kayseri ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g}, \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.85$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt} ,$$

XPS için $x_{opt} = 0.049$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.046$ (m) bulunur.

Malatya ili için optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında kullanılan parametreler Tablo 4.5’ de verilmiştir.

Tablo 4.5. Malatya İçin Yalıtım Kalınlığının Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer
DGS	2996
Yakıt	Kömür
H _u	25.122x10 ⁶ (J/kg)
η	0.65
Yalıtım	(EPS)
k	0.032 (W/mK)
Yalıtım	(XPS)
k	0.040 (W/mK)
C _{mlz}	23.88 \$
i	16 (%)
g	10 (%)
N	10 yıl
GDF	1.8

4.5.5. Malatya ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g}, \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.85$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt} ,$$

XPS için $x_{opt} = 0.034$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.038$ (m) bulunur.

4.5.6. Malatya ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} , \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.77$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt},$$

XPS için $x_{opt} = 0.047$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.045$ (m) bulunur.

Mersin ili için optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında kullanılan parametreler Tablo 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.6. Mersin İçin Yalıtım Kalınlığının Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer
DGS	852
Yakıt	Kömür
H_u	25.122×10^6 (J/kg)
η	0.65
Yalıtım	(EPS)
k	0.032 (W/mK)
Yalıtım	(XPS)
k	0.040 (W/mK)
C_{mlz}	23.88 \$
i	16 (%)
g	10 (%)
N	10 yıl
GDF	1.8

4.5.7. Mersin ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} , \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.85$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt},$$

XPS için $x_{opt} = 0.006(m)$ EPS için $x_{opt} = 0.002(m)$ bulunur.

4.5.8. Mersin ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} , \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.77$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt},$$

XPS için $x_{opt} = 0.014(m)$ EPS için $x_{opt} = 0.011 (m)$ bulunur.

Muğla ili için optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında kullanılan parametreler Tablo 4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.7. Muğla İçin Yalıtım Kalınlığının Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer
DGS	1879
Yakıt	Kömür
H _u	25.122x10 ⁶ (J/kg)
H	0.65
Yalıtım	(EPS)
k	0.032 (W/mK)
Yalıtım	(XPS)
K	0.040 (W/mK)
C _{mlz}	23.88 \$
i	16 (%)
g	10 (%)
N	10 yıl
GDF	1.8

4.5.9. Muğla ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} , \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.85$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt} ,$$

XPS için $x_{opt} = 0.023$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.02$ (m) bulunur.

4.5.10. Muğla ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} , \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.77$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt} ,$$

XPS için $x_{opt} = 0.032$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.030$ (m) bulunur.

Şanlıurfa ili için optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında kullanılan parametreler Tablo 4.8' de verilmiştir.

Tablo 4.8. Şanlıurfa İçin Yalıtım Kalınlığının Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer
DGS	1503
Yakıt	Kömür
H _u	25.122x10 ⁶ (J/kg)
η	0.65
Yalıtım	(EPS)
k	0.032 (W/mK)
Yalıtım	(XPS)
k	0.040 (W/mK)
C _{mlz}	23.88 \$
i	16 (%)
g	10 (%)
N	10 yıl
GDF	1.8

4.5.11. Şanlıurfa ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} , \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.85$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt},$$

XPS için $x_{opt} = 0.018$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.014$ (m) bulunur.

4.5.12. Şanlıurfa ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} , \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.77$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt},$$

XPS için $x_{opt} = 0.026$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.024$ (m) bulunur.

Trabzon ili için optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında kullanılan parametreler Tablo 4.9’ da verilmiştir.

Tablo 4.9. Trabzon İçin Yalıtım Kalınlığının Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer
DGS	1724
Yakıt	Kömür
H_u	25.122×10^6 (J/kg)
η	0.65
Yalıtım	(EPS)
k	0.032 (W/mK)
Yalıtım	(XPS)
k	0.040 (W/mK)
C_{mlz}	23.88 \$
i	16 (%)
g	10 (%)
N	10 yıl
GDF	1.8

4.5.13. Trabzon ilinin dıştan yalıtımlı duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} , \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.85$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt},$$

XPS için $x_{opt} = 0.021$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.018$ (m) bulunur.

4.5.14. Trabzon ilinin sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

$$r = \frac{i-g}{1+g} \quad , \quad r = 0.54 \quad GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} \quad , \quad GDF = 1.8 \quad R_{duvt} = 0.77$$

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGSC_{ykt} GDF_k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt} ,$$

XPS için $x_{opt} = 0.030$ (m) EPS için $x_{opt} = 0.027$ (m) bulunur.

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada sunulan optimum yalıtım kalınlığı hesaplama yöntemi, değişik duvar tipleri, yalıtım malzemeleri ve ekonomik veriler gibi parametrelerle en ekonomik yalıtımın yapılmasına imkan sağlamaktadır. Binaların dış duvarlarına uygulanan yalıtım kalınlığı arttıkça, binanın ısı kaybı ve buna bağlı olarak da ısıtma yükü azalmaktadır. Bu da yakıt maliyetinin azalacağı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, yalıtım kalınlığının artması yalıtım maliyetini de arttıracığından toplam maliyette artış görülmektedir. Bu artış, optimum yalıtım kalınlığına kadar orantılı bir şekilde devam etmektedir. Bu değerden sonra, gereksiz yere artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak, yalıtım maliyeti ve dolayısıyla toplam maliyette bir artış görülmektedir. Balıkesir, Kayseri, Malatya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Trabzon illeri için yalıtım kalınlığının toplam maliyet ve yıllık kazanç üzerindeki etkisi, dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar uygulamalarına göre tablolar halinde sunulmuştur. Sandviç duvar modelinde, yalıtım kalınlığının artmasıyla toplam maliyetteki artışın daha fazla olduğu görülmüştür. Bulunan sonuçlar, dıştan yalıtımlı duvar için Tablo 5.1’ de, sandviç duvar için ise Tablo 5.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Dıştan yalıtımlı duvar için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı

İller	Yalıtım Malzemesi	
	XPS (m)	EPS (m)
Balıkesir	0.024	0.021
Kayseri	0.039	0.036
Malatya	0.038	0.034
Mersin	0.006	0.002
Muğla	0.023	0.020
Şanlıurfa	0.018	0.014
Trabzon	0.021	0.018

Dıştan yalıtımlı duvar için bulunan optimum yalıtım kalınlığının, sandviç duvar için gerekli olandan daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Tablo 5.2. Sandviç duvar için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları

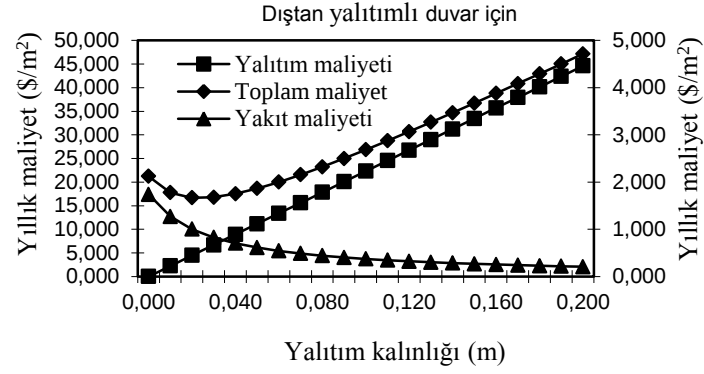
İller	Yalıtım Malzemesi	
	XPS (m)	EPS (m)
Balıkesir	0.033	0.030
Kayseri	0.049	0.046
Malatya	0.047	0.045
Mersin	0.014	0.011
Muğla	0.032	0.030
Şanlıurfa	0.026	0.024
Trabzon	0.030	0.027

Yıllık maliyet ve optimum yalıtım kalınlığının derece gün sayısına bağlı değişim grafiklerinin gösteriminde kullanılan datalar Tablo 5.3'te sıralanarak gösterilmiştir.

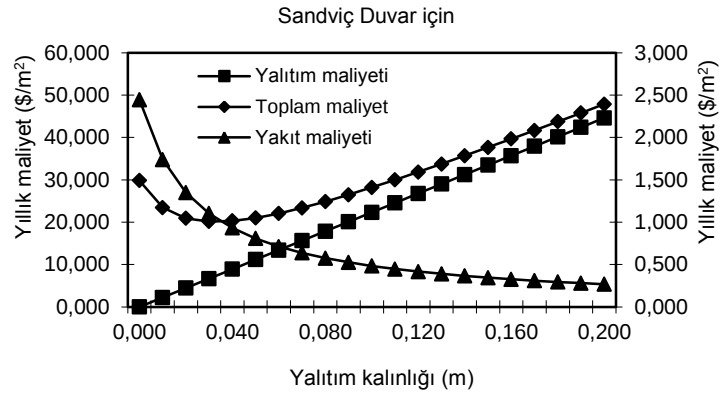
Tablo 5.3. Yıllık maliyet ve optimum yalıtım kalınlığı için Excel grafik tablosu

PWF	X _{op}	Zaman Sabiti 1	R _{duvtS}	R _{duvtD}	Zaman Sabiti 2	GDF
1.000	0.000	86400	0.770	0.85	293.940	1.8
2.000	0.010	86400	0.770	0.85	293.940	1.8
3.000	0.020	86400	0.770	0.85	293.940	1.8
4.000	0.030	86400	0.770	0.85	293.940	1.8
5.000	0.040	86400	0.770	0.85	293.940	1.8
6.000	0.050	86400	0.770	0.85	293.940	1.8
7.000	0.060	86400	0.770	0.85	293.940	1.8

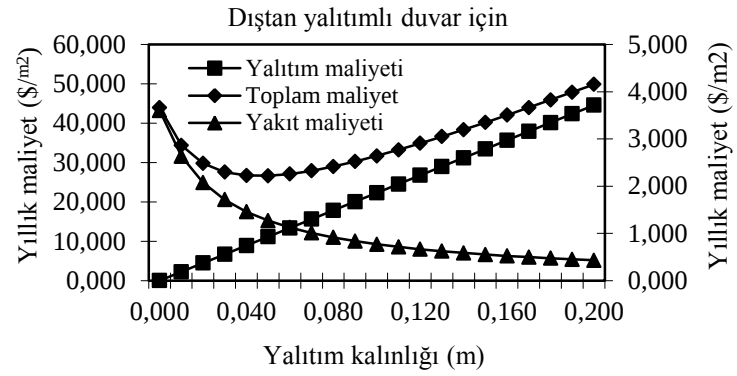
Yedi farklı ilin yalıtım kalınlığının yıllık maliyeti arasındaki bağlantıyı dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar yapısına için yalıtım maliyeti, toplam maliyeti ve yakıt maliyeti arasındaki değişimi gösteren grafikler her il için Şekil 5.1-5.14 'de gösterilmiştir.



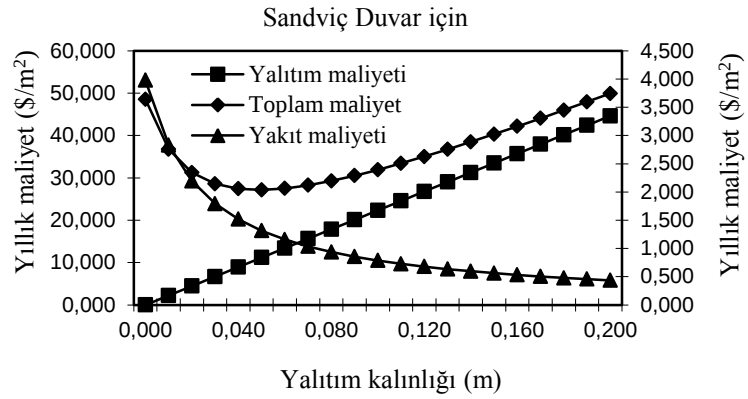
Şekil 5.1. Balıkesir ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



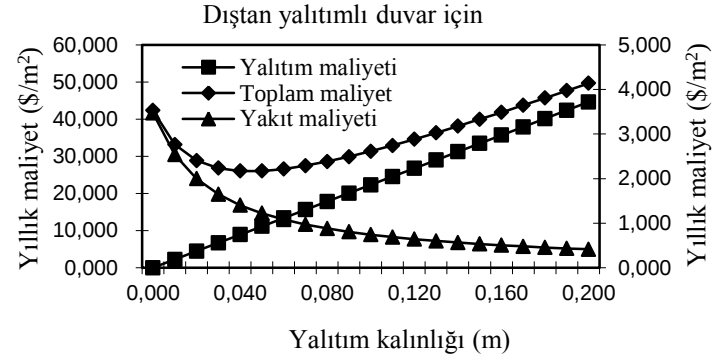
Şekil 5.2 Balıkesir ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



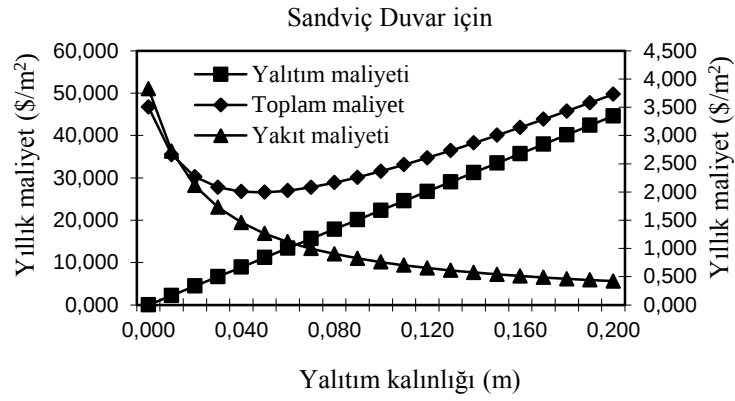
Şekil 5.3. Kayseri ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



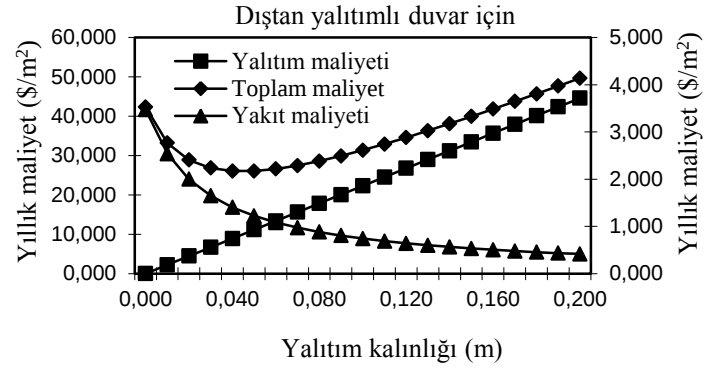
Şekil 5.4. Kayseri ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



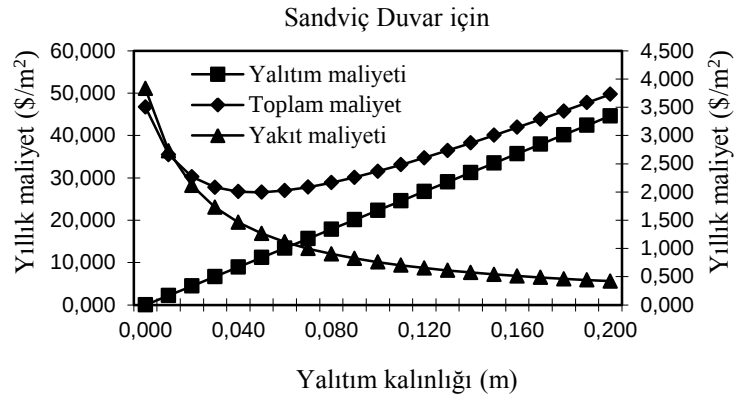
Şekil 5.5. Malatya ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



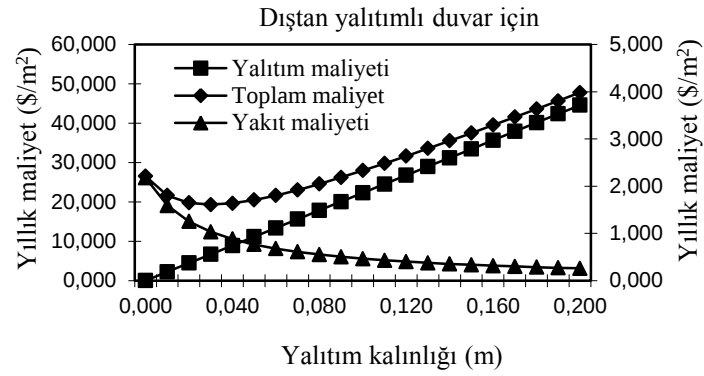
Şekil 5.6. Malatya ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



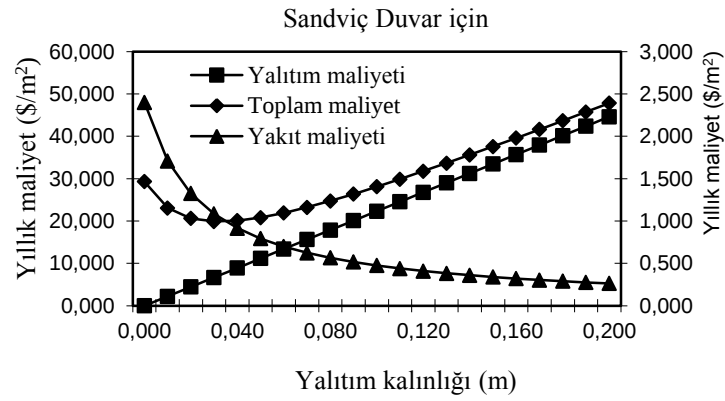
Şekil 5.7. Mersin ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



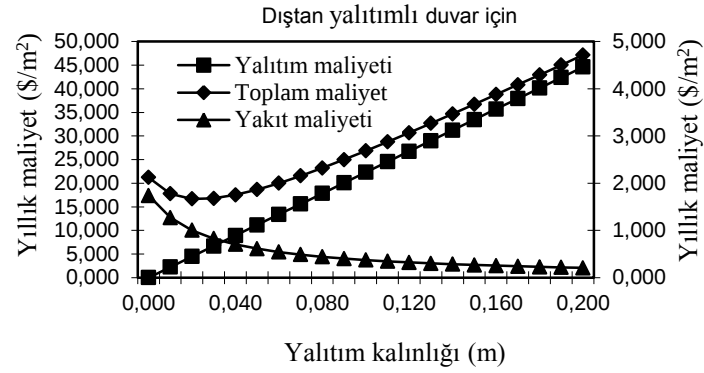
Şekil 5.8. Mersin ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



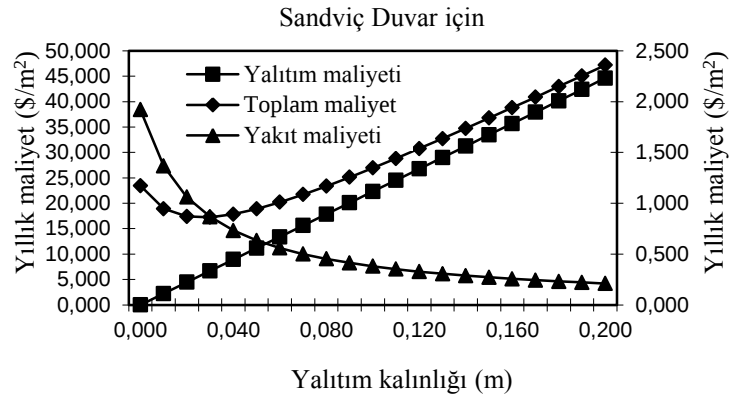
Şekil 5.9. Muğla ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



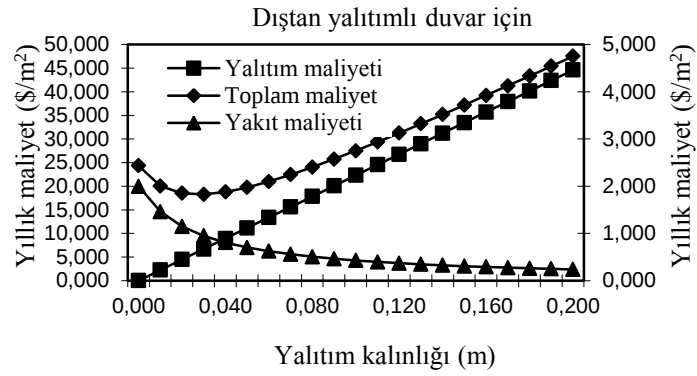
Şekil 5.10. Muğla ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



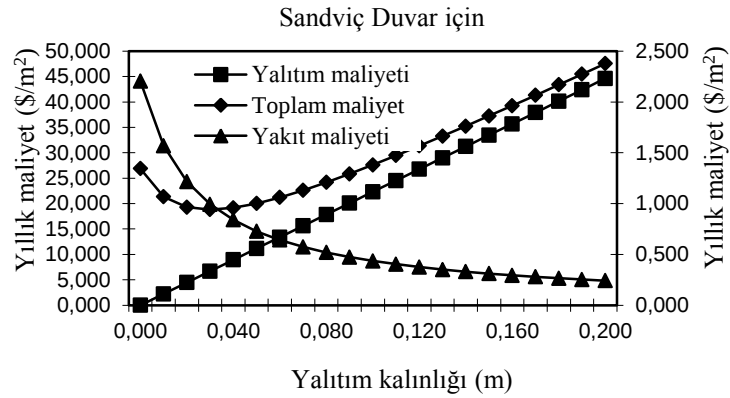
Şekil 5.11. Şanlıurfa ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi



Şekil 5.12. Şanlıurfa ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi

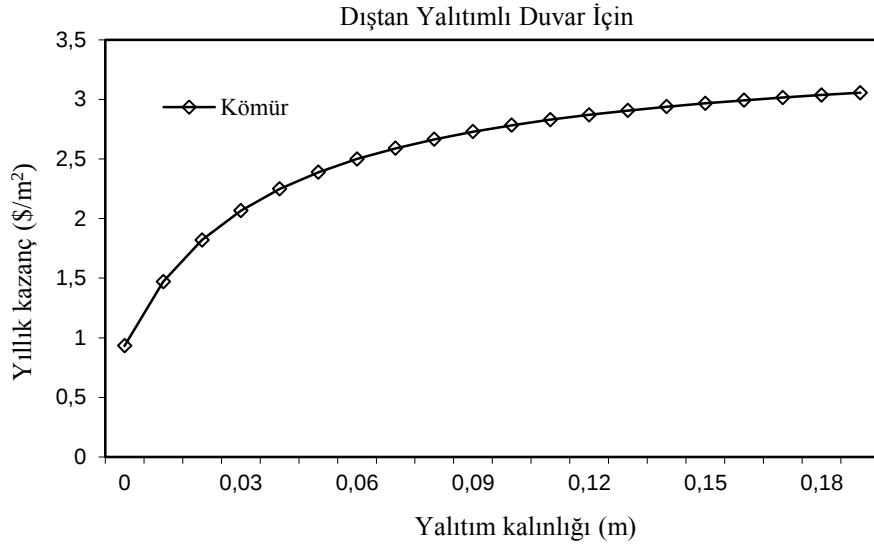


Şekil 5.13. Trabzon ili dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi

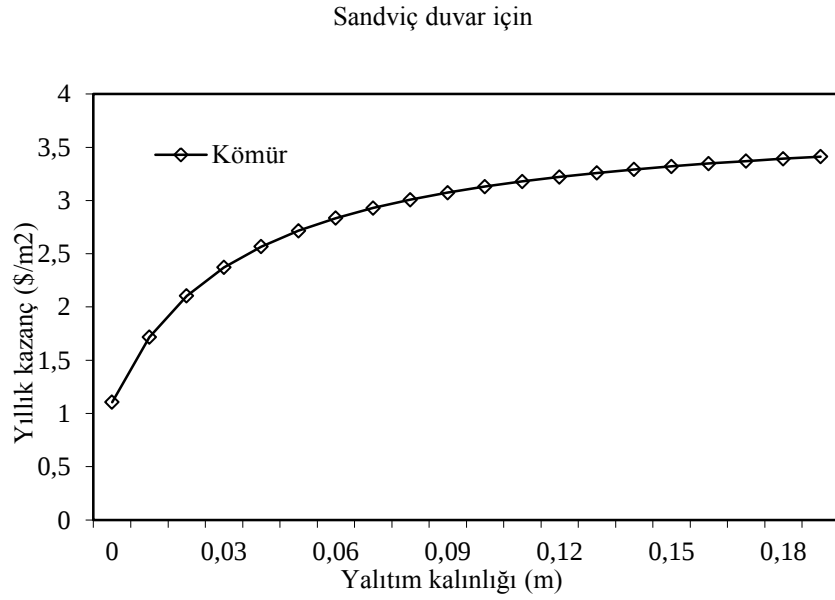


Şekil 5.14. Trabzon ili sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisi

Eşitlik (4.16) kullanılarak yıllık maliyet her iki duvar için hesaplanmıştır. Bu değer yalıtımsız olarak hesaplanarak fark bulunmuş, bulunan fark; yalıtımdan elden edilen yıllık kazanç olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.15. Yedi farklı bölgelerin dıştan yalıtımlı duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık kazanç üzerindeki etkisi



Şekil 5.16. Yedi farklı bölgelerin sandviç duvar için, farklı yalıtım kalınlıklarının yıllık kazanç üzerindeki etkisi

İllere göre hesaplanan geri dönüşüm süreleri ve enerji maliyetleri dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar tipine göre iki farklı yalıtım malzemeleri için yapılan hesaplamalar Tablo 5.4 - 5.7’de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. XPS (Extrude Polistren Köpük) dıştan yalıtılmış duvar için geri dönüşüm süresi ve enerji maliyeti tasarrufu tablosu

	Dıştan Yalıtılmış Duvar İçin	
İller	Geri Dönüşüm Süresi (Yıl)	Enerji Maliyeti Tablosu (\$/m²)
Balıkesir	2.7	10.332
Kayseri	4.4	16.789
Malatya	4.6	16.359
Mersin	0.7	2.583
Muğla	2.6	9.901
Şanlıurfa	2.1	7.750
Trabzon	2.4	9.040

Tablo 5.5. XPS (Extrude Polistren Köpük) sandviç duvar için geri dönüşüm süresi ve enerji maliyeti tasarrufu tablosu

	Sandviç Duvar İçin	
İller	Geri Dönüşüm Süresi (Yıl)	Enerji Maliyeti Tablosu (\$/m²)
Balıkesir	2.9	14.175
Kayseri	4.3	21.047
Malatya	4.2	20.188
Mersin	1.2	6.013
Muğla	2.8	13.745
Şanlıurfa	2.3	11.167
Trabzon	2.6	12.885

Tablo 5.6. EPS (Genleştirilmiş Polistren Köpük) dıştan yalıtılmış duvar için geri dönüşüm süresi ve enerji maliyeti tasarrufu tablosu

İller	Dıştan Yalıtılmış Duvar İçin	
	Geri Dönüşüm Süresi (Yıl)	Enerji Maliyeti Tablosu (\$/m ²)
Balıkesir	3.7	6.610
Kayseri	6.5	11.332
Malatya	6.1	10.703
Mersin	0.3	629
Muğla	3.5	6.295
Şanlıurfa	2.4	4.407
Trabzon	3.1	5.666

Tablo 5.7. EPS (Genleştirilmiş Polistren Köpük) sandviç duvar için geri dönüşüm süresi ve enerji maliyeti tasarrufu tablosu

İller	Sandviç Duvar İçin	
	Geri Dönüşüm Süresi (Yıl)	Enerji Maliyeti Tablosu (\$/m ²)
Balıkesir	3.6	10.822
Kayseri	5.6	14.430
Malatya	5.5	14.117
Mersin	1.3	3.978
Muğla	3.6	10.822
Şanlıurfa	2.9	8.658
Trabzon	3.3	9.740

6. SONUÇLAR

Günümüzde, özellikle yakıt maliyeti yüksek olan yerlerde enerji tasarrufu oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışma Türkiye’de yedi farklı bölgeden seçilen Balıkesir, Kayseri, Malatya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Trabzon illeri için yakıt olarak kömür ve iki farklı yalıtım malzemesi ekstrüde polistren (XPS) ve ekspande polistren (EPS) köpük olmak üzere yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı duvar modeli üzerinde yapılmıştır. Hesaplamalar neticesinde en düşük maliyet analizlerine göre Mersin ili için dıştan yalıtılmış duvar modeli ve yalıtım malzemesi olarak ekspande polistren (EPS) köpük kullanılarak geri dönüşüm süresi 0.3 yıl, enerji maliyeti tasarrufu 629 \$/m², en yüksek maliyet Kayseri ili, sandviç duvar modeli, yalıtım malzemesi ekstrüde polistren (XPS) kullanılarak geri dönüşüm süresi 4.3 yıl, enerji maliyeti tasarrufu 21.047 \$/m² olarak tespit edilmişti. Yalıtım malzemesinin birim fiyatına ve buna bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığının bütün verilerde görüldüğü gibi ekspande polistren (EPS) köpükte daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Kullanılan duvar modelininse dıştan yalıtılmış duvar modelinin enerji maliyeti açısından oranlar daha üstün olduğu saptanmıştır. Duvarın toplam ısı transfer katsayısının artması optimum yalıtım kalınlığını azaltırken, DGS (derece gün sayısı) ve yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı değerinin artması optimum yalıtım kalınlığını artırmaktadır. Sonuç olarak binalara ısı yalıtımı uygulanarak, önemli miktarda enerji tasarrufu ve çevre kirliliğinde de azalma sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Hasan, A.**, 1999. Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost, *Applied Energy* , **63** , 115-124.
- [2] Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Maliyet Analiz Verileri, <http://www.maliyetbul.com/ha04-bayindirlik-iskan-bakanligi-yapi-yaklasik-maliyetleri.php> (2011).
- [3] **TS-825**, 1998. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [4] **TS-40561**, 1985. Çelik yapıların plastik teoriye göre hesap kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [5] **TMMOB.**, 2007. Tesisat Mühendisliği Yayınları.
- [6] **Naouel D., Zaineb H., Habib B. A.**, 2010. Analytical periodic solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia, *Applied Thermal Engineering*, **30**, 319-326, 2010.
- [7] **Christenson R.**, 2002. Moisture control for buildings, *ASHRAE journal*, **44** (22), 36-41.
- [8] **Çomaklı K., Yüksel B.**, 2003. Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, *Applied Thermal Engineering*, **23**, 473-479.
- [9] **Papadopoulos A.**, 2005. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments, *Energy and Buildings*, **37**, 77-86.
- [10] **Dombaycı Ö. A.**, 2007. The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings, *Building and Environment*, **42**, 3855-3859.
- [11] **Gölcü M., Dombaycı Ö., ve Abalı S.**, 2007. Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları, Cilt 21, No 4 ,639-644, Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü.

- [12] **Özel M., Pıhtılı K.,** 2008. Determination of optimum insulation thickness by using heating and cooling degree-day values, Journal of Engineering and Natural Sciences, **26**, 473-479.
- [13] **Özkan D. B., Onan C.,** 2010. Optimizasyon of insulation thickness for different glazing areas in building for various climatic region in Turkey, Applied Energy, **88**, 1331–1342.
- [14] **Aytaç A. ve Aksoy T.,** 2006. Enerji tasarrufu için dış duvarda optimum yalıtım kalınlığı ve maliyet ilişkisi, Yapı Eğitimi, Cilt 21, Sayı 4, 753-758.
- [15] **Bolattürk A.,** 2006. Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, Applied Thermal Engineering, **26**, 1301–1309.
- [16] **Kaynaklı Ö., Yamankaradeniz R.,** 2008. Isıtma süreci ve optimum yalıtım sınır şartı, Department of Mechanical Engineering, Applied Energy, **88**, 1331–1342 TR-34349.
- [17] **Yu J., Yang C., Tian L. And Liao D.,** 2009. A study optimum insulation thickness of external walls in hot summer in cold winter of China, Applied Energy, **86**, 2520–2529.
- [18] **Layberry R.,** 2009. Heating cooling lightening desing methods arcitects 2nd., Wiley Applied Energy **86**, 120–135.
- [19] <http://www.izocam.com> İzoder., Xps.,Eps.,Taşyünü (2011).
- [20] **Ay, M.,** 2003. Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretilen Fe-C-Mo-Cr7C3 Kompozitinin Abrasiv Aşınma Dayanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] <http://www.wikipedia.org/Yalıtım>, (2012).
- [22] **Roberts. S. and Jackson, J.A.,** 1991. Active normal faulting in central Greece: An overview, special Publ. Geol. Soc. London, **56**, 125-142.

- [23] **TÜİK, 2011.** Yeniden Yapılanma ve Binalarda İzolasyonu.
- [24] **Çetmeli, E., Çakıroğlu, A., 1976.** Yapı Statiği II, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [25] [http://www.dosider.com/Doğalgaz Cihazlar Sanayicileri ve İşadamları Derneği](http://www.dosider.com/Doğalgaz_Cihazlar_Sanayicileri_ve_İşadamları_Derneği), (2007).
- [26] <http://www.tcmb.gov.tr/Optimizasyon,Xps.>, (2011).
- [27] www.dmi.gov.tr/tahmin/malatya, Malatya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, Malatya İl Müdürlüğü, (2012).
- [28] **TS 825, 1999.** Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Resmi Gazete, 23725, 12.
- [29] **Duryamaz A., Kadioğlu M., Şen Z., 2000.** An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul, Energy, **25**,1245-1256.
- [30] <http://www.thermalspray.ws/spray%20and%20fuse.htm>(29.12.2010).
- [31] <http://www.izoder.org.tr/İzoder>, Binalarda Isı Yalıtımı (2011).

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Halil DEMİR, 01.01.1984 yılında Diyarbakır’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Malatya’da tamamladı. 2003 yılında Malatya Hacı Ahmet Akıncı Lisesi’nden mezun oldu. 2003 yılında eğitimine başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2008 yılında bitirdi. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Yüksek Lisans programına başladı ve halen devam etmektedir. C sınıfı iş güvenliği uzmanı belgesine sahiptir.